

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Кафедра редакционно-издательских технологий**

# **МАТЕРИАЛЫ УПАКОВОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

**Лабораторный практикум по дисциплине  
«Материалы упаковочного производства»  
для студентов специальности 1-47 02 01  
«Технология полиграфических производств»**

Минск 2014

УДК 621.798-03(076.5)  
ББК 30.61я73  
М34

Рассмотрен и рекомендован редакционно-издательским советом  
Белорусского государственного технологического университета

Авторы-составители:

*А. А. Губарев, М. А. Зильберглейт, А. Ф. Мануленко*

Рецензенты:

доцент кафедры технологии нефтехимического синтеза  
и переработки полимерных материалов УО БГТУ,  
кандидат химических наук *Р. М. Долинская*;  
ведущий научный сотрудник лаборатории синтеза  
и исследования ионообменных смол ИФОХ НАН Беларуси,  
кандидат химических наук *А. А. Шункевич*

**Материалы упаковочного производства** : учеб.-метод. пособие для студентов специальности 1-47 02 01 «Технология полиграфических производств» / сост.: А. А. Губарев, М. А. Зильберглейт, А. Ф. Мануленко. – Минск : БГТУ, 2014. – 99 с.

Лабораторный практикум представляет собой комплекс лабораторных работ и вопросов теории, органично с ними связанных. Данное учебно-методическое пособие является средним звеном между углубленной теоретической работой обучающихся на лекциях и применением знаний на практике. Эти занятия удачно сочетают элементы теоретического исследования и практической работы.

Лабораторный практикум предназначен для студентов 3 и 4 курсов специальности 1-47 02 01 «Технология полиграфических производств», а также может быть полезным магистрантам и аспирантам, специализирующимся в области упаковочного производства.

УДК 621.798-03(076.5)  
ББК 30.61я73

© УО «Белорусский государственный  
технологический университет», 2014

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Дисциплина «Материалы упаковочного производства» является одной из ведущих в подготовке студентов 1-47 02 01 «Технология полиграфических производств».

В основе любого технологического процесса лежит переработка материалов и полуфабрикатов. Решение задач, связанных с повышением качества и эффективности производства тары и упаковки, невозможно без знания свойств материалов, используемых в полиграфической и упаковочной промышленности, а также методов оценки их качества. Постоянство требуемых свойств полимеров, бумаги, печатных красок обеспечивает надежность технологических процессов и, как результат, высокое качество продукции.

Одним из важнейших условий достижения высокого качества упаковочной продукции является входной контроль качества исходных материалов, а также последующая проверка стадий технологического процесса создания продукции. Поэтому в лабораторном практикуме значительное место отведено ознакомлению с методами контроля свойств различных материалов, используемых в упаковочной продукции.

Все темы лабораторных работ снабжены дополнительным теоретическим материалом, который в той или иной степени отражает состояние знаний по соответствующим разделам практикума.

В ходе выполнения лабораторных работ студент должен овладеть методиками и приобрести практические навыки по приготовлению, анализу и использованию различных материалов и полуфабрикатов, применяемых в упаковочной и полиграфической промышленности.

# Лабораторная работа № 1

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА УПАКОВОЧНЫХ, ОБЕРТОЧНЫХ И ЭТИКЕТОЧНЫХ БУМАГ

Цель работы: освоить методики определения массы 1 м<sup>2</sup> бумажного листа, толщины, а также плотности, влажности, зольности, содержания наполнителя, сорности.

Химикаты и оборудование: образцы бумаги и целлюлозы, фарфоровый тигель, металлический бюкс, эксикатор, аналитические весы, микрометр, сушильный шкаф, муфельная печь, микроскоп.

### 1.1. Теоретическая часть

Свойства бумаги зависят от композиционного состава ее массы, большую часть которого составляют целлюлозные полуфабрикаты. Мировой рынок целлюлозы в основном представлен сульфатными и сульфитными видами (белеными и небелеными), получаемыми из хвойных и лиственных пород древесины. Вид используемого волокна определяет физико-механические, оптические и другие свойства листа.

Одним из важных показателей ее качества является *влажность*, которая, в свою очередь, влияет на другие показатели: печатные, гидрофобные, упругопластичные и прочностные. Так, бумага, имеющая влажность менее 2%, в процессе эксплуатации склонна к короблению, что отражается на комплексе ее качественных и эксплуатационных характеристик.

*Зольность* бумаги свидетельствует о наличии в ней минеральных веществ и представляет собой сумму зольных элементов целлюлозного волокна и минерального наполнителя.

В процессе производства материала для снижения его себестоимости и повышения печатных свойств используют различные минеральные наполнители. В качестве их используют в основном белые минеральные вещества (каолин, мел, бланфикс и др.), а также оксиды титана и магния. Наполнитель оказывает влияние на многие свойства бумаги: толщину, плотность, впитывающую способность, воздухопроницаемость, стойкость к деформации, гладкость и лоск, белизну, непрозрачность, механическую прочность и др. Степень влияния зависит от вида и количества добавок. *Толщина* бумаги при введении минеральных веществ снижается, а *плотность*, соответственно, увеличивается. Изменение этих свойств зависит от удельной массы и степени дисперсности наполнителей: чем они выше, тем меньше слой и значительней уплотненность бумаги.

К добавкам, обладающим малой удельной массой и низкой степенью дисперсности, относятся каолин, мел, тальк, асбестин и гипс. Наибольшей плотностью обладает бумага, при производстве которой в качестве наполнителя использован бланфикс, а наименьшей — при использовании необожженного, грубозернистого гипса.

Увеличение средней уплотненности и уменьшение толщины бумаги для печати при той же площади ее листа позволяют сделать книгу более компактной и удобной в обращении. Однако уменьшение слоя бумаги повышает ее прозрачность и, как следствие, может привести к проступанию изображения или текста, отпечатанных на оборотной стороне листа.

*Пористость*, характеризующаяся воздухопроницаемостью, а также *впитывающая способность* бумаги при использовании минеральных веществ возрастают. Эти показатели увеличиваются тем больше, чем крупнее частицы наполнителя.

Действие минеральных добавок на воздухопроницаемость и впитывающую способность бумаги объясняется тем, что частицы наполнителя разъединяют ее волокна и уменьшают межволоконные силы связи в бумажном листе. Это приводит к повышению пористости и, как следствие, впитывающей способности, а также мягкости бумаги. При этом наблюдается снижение ее механической прочности.

Для уплотнения, понижения ее воздухопроницаемости, повышения лоска и гладкости бумагу подвергают каландрированию. Данный процесс состоит в пропускании бумажного полотна между чередующимися металлическими и набивными валами, имеющими различную скорость вращения. За счет разности скорости вращения металлические валы как бы проскальзывают и, тем самым, сглаживают поверхности бумаги, уплотняя ее. Эта технологическая операция проводится на оборудовании, которое называется суперкаландр. Исходя из этого, различают бумаги машинной гладкости и каландрированные.

*Упругость* бумаги, характеризующаяся способностью восстанавливать первоначальную форму при сжатии, изгибе или скручивании — свойство, противоположное пластичности. Практически все наполнители делают бумагу менее упругой, более мягкой, она лучше сглаживается при каландрировании. Исключение составляет гипс, который придает материалу жесткость и звонкость. Поэтому он не применяется для наполнения листа, предназначенного для печати, но может использоваться для писчей и почтовой бумаги, где это допустимо.

*Гладкость* некаландрированной бумаги при введении веществ обычно не повышается, а каландрированной — существенно увеличи-

вается. Это объясняется тем, что наполнитель заполняет углубления в поверхности листа и этим уменьшает его шероховатость, способствуя увеличению пластичности бумаги и, таким образом, делая ее более податливой операции сглаживания.

*Линейная деформация* — показатель, характеризующий изменение линейных размеров бумажного листа при его увлажнении. Например, документная, картографическая, офсетная, литографская и другие бумаги должны иметь низкую деформацию, что связано с особенностями производства и последующего использования печатной продукции, изготовленной на базе данных материалов. Снижение линейной деформации достигается введением наполнителей, которые в достаточной мере нейтрализуют влияние колебаний влажности.

В то же время присутствие добавок снижает *механическую прочность* бумаги, которая характеризуется следующими показателями: сопротивлениями разрыву, излому, продавливанию и др. При увеличении зольности бумаги до 3–4% падение ее прочности малозаметно, но при дальнейшем повышении содержания наполнителя значения прочностных показателей снижаются, в первом приближении, обратно пропорционально повышению содержания веществ. При этом в большей степени снижается сопротивление излому. Так, при повышении зольности бумаги на 1% ее разрывная длина снижается на 1,75%, а сопротивление излому — на 10%.

Наполнители также отрицательно влияют на *проклейку* бумаги. Поэтому при выработке хорошо проклеенного листа введение в него наполнителей ограничивается 6–8% золы. Например, бумага, зольность которой составляет 18%, характеризуется степенью проклейки на 60–70% ниже, чем без наполнителя. При увеличении содержания в листе добавок степень ее проклейки снижается примерно по закону прямой линии.

Наполнители влияют также на *пылимость* и *разносторонность* бумаги. Оба эти свойства нежелательны для многих видов бумаги, в особенности для печатных сортов. Пыление при печати загрязняет печатные формы и ухудшает качество изображения. Пылимость бумаги возрастает с увеличением содержания в ней наполнителя.

*Разносторонность*, или двусторонность, заключается в том, что сечная и лицевая стороны листа имеют разный оттенок, гладкость, впитывающую способность, а иногда и степень проклейки. Причина дефекта заключается в неравномерном распределении минеральных веществ, клеевых частиц и мелкого волокна в толще бумажного листа: верхняя его сторона содержит больше наполнителя и мелкого волокна, чем нижняя.

Многообразие свойств бумаги и широкий диапазон их варьирования обеспечивают возможность применения разных ее видов по самому различному целевому назначению. В то же время низкие, по сравнению с предусмотренными соответствующими стандартами, качественные показатели бумажного листа затрудняют его практическое использование, а в некоторых случаях делают совершенно непригодной для определенных целей.

Причины возникновения дефектов материала могут быть различные. Прежде всего, они связаны с нарушениями технологических режимов изготовления листа, начиная с использования неподходящих волокнистых материалов и химикатов и заканчивая неправильной упаковкой готовой продукции и отступлением от требований хранения и транспортировки потребителям.

Масса  $1 \text{ м}^2$  является одним из основных показателей, который регламентируется нормативно-технической документацией (ГОСТ, ISO, ТУ и др.) для всех видов бумаги и картона. Иногда этот параметр ошибочно называют плотностью. Известно, что она представляет собой величину массы этого материала в единице объема. Таким образом, по своему физическому смыслу и по размерности величин понятие массы  $1 \text{ м}^2$  и плотность являются совершенно различными.

Чем равномернее масса  $1 \text{ м}^2$  вырабатываемой бумаги, тем, как правило, более равномерным оказывается этот материал и по другим показателям качества: влажности, толщине, средней плотности, просвету, показателям механической прочности и др.

Допустимые изменения массы  $1 \text{ м}^2$  листа регламентируются нормами стандартов. Если колебания выходят за их пределы, такая бумага считается некондиционной.

Чрезмерно низкая масса  $1 \text{ м}^2$  бумаги часто является причиной ее ослабления, повышения светопроницаемости (что нежелательно для писчей бумаги или для печати) и ухудшения других потребительских свойств. Слишком высокая масса  $1 \text{ м}^2$  бумаги также ухудшает потребительские свойства, повышает себестоимость конечной продукции. Однако существующая технология не позволяет вырабатывать бумагу строго однородной массы  $1 \text{ м}^2$ , и те или иные колебания этого показателя неизбежны. Такие отклонения носят систематический или неорганизованный характер.

В первом случае неравномерная масса  $1 \text{ м}^2$  может наблюдаться по ширине бумажного полотна с постоянным характером колебаний. Во втором случае изменения связаны с временными отступлениями от норм технологического процесса.

Масса 1 м<sup>2</sup> бумаги — это характеристика, которая дает возможность сравнивать между собой по массе различные виды бумаги, независимо от их формата. Определение массы 1 м<sup>2</sup> основано на взвешивании испытуемого образца листа определенного размера с последующим пересчетом полученного значения на массу 1 м<sup>2</sup>.

Не менее важным показателем качества бумаги является ее чистота, которая характеризуется *сорностью* и обусловлена наличием соринок, посторонних включений, пятен, видимых невооруженным глазом.

По внешнему виду и происхождению все включения можно разделить на три группы:

1) соринки волокнистого происхождения: непровар, костра, пучки неразработанных волокон, узелки и сгустки массы, кусочки неразмолотого бумажного брака и макулатуры, коры;

2) неметаллические включения (минеральные и органические) и различного рода пятна: сажа, краска, каолин, гипс, известь, сургуч, резина, пек, шлак, песок, смоляные и масляные пятна, слизь;

3) металлические включения: частицы железа, меди, бронзы и других металлов.

При визуальном определении сорности бумаги подсчитывают соринки и пятна, видимые невооруженным глазом в отраженном свете с приведением подсчета к 1 м<sup>2</sup>. Испытуемый образец размером 250×250 мм без морщин, складок и перегибов кладут на чистую белую бумагу прямо перед собой так, чтобы свет падал на него слева (испытание лучше проводить при дневном свете, но можно и при искусственном освещении). Подсчитывают и отмечают карандашом соринки и пятна, размер которых больше верхнего предела, предусмотренного ГОСТом на данную бумагу.

В случае сомнений размер соринок проверяют совмещением их с фигурками на шаблоне. Он представляет собой прозрачную пленку, на которую нанесены черные фигурки различных конфигураций и площади: 0,06; 0,1; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0; 1,5; 2,0 мм<sup>2</sup>. Испытанию подвергают три образца, число соринок подсчитывают с обеих сторон каждого. Сорность бумаги рассчитывают по формуле

$$S = \frac{\sum a_i}{b} \cdot K, \quad (1)$$

где  $S$  — сорность, фрагмент/м<sup>2</sup>;  $a_i$  — число соринок в каждом испытуемом образце, фрагмент;  $b$  — количество испытанных образцов, шт.;  $K$  — коэффициент перехода к размерности 1 м<sup>2</sup>.



Результат округляют до целого числа. Полученное значение выражает сорность 1 м<sup>2</sup> бумаги.

Принцип определения сорности на фотоэлектрическом приборе и счетчике сорности АСС заключается в обследовании образца бумаги световым пучком. Диффузно отраженный от поверхности листа свет попадает на фотоприемник. При попадании под световое пятно соринки и пятен изменяется ток в цепи фотоприемника, сигнал увеличивается усилителем и поступает на счетные устройства. Результаты испытаний считываются с индикаторов прибора.

## **1.2. Практическая часть**

### **1.2.1. Определение влажности бумаги и целлюлозы**

Бумагу или целлюлозу высушивают в сушильном шкафу при температуре 100–105°C до постоянной массы. Для этого около 5 г нарезанной из различных мест испытуемого образца бумаги или целлюлозы помещают во взвешенный на аналитических весах металлический бюкс, рассчитывают и высушивают до постоянной массы. Время измерения составляет 20 мин. Влажность бумаги или целлюлозы рассчитывают по формуле

$$B = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100, \quad (2)$$

где  $B$  — влажность бумаги или целлюлозы, %;  $m_1$  и  $m_2$  — масса бумаги или целлюлозы соответственно до и после высушивания, г.

### **1.2.2. Определение зольности бумаги и целлюлозы**

Около 2 г воздушно-сухой бумаги или целлюлозы в виде небольших лепестков, нарезанных из разных мест образца, помещают в предварительно прокаленный и взвешенный на аналитических весах фарфоровый тигель, сжигают и прокаливают при температуре 800±50°C до постоянной массы. Зольность рассчитывают по формуле

$$Z = \frac{m_3}{m_1 - m_1 B / 100} \cdot 100, \quad (3)$$

где  $Z$  — зольность бумаги или целлюлозы, %;  $m_1$  — масса воздушно-сухой бумаги или целлюлозы, г;  $m_3$  — масса золы, г.

### 1.2.3. Определение содержания минерального наполнителя

Содержание наполнителя в бумаге определяют эмпирическим путем по формуле

$$H = \frac{Z_1 - Z_0}{100 - k} \cdot 100, \quad (4)$$

где  $H$  — содержание наполнителя в бумаге, %;  $Z_1$  и  $Z_0$  — зольность соответственно бумаги и целлюлозы, %;  $k$  — процент потери наполнителя при сжигании, %, ( $k = 5$ ).

### 1.2.4. Определение массы 1 м<sup>2</sup> бумаги

Испытанию подвергают не менее трех образцов размером 100×100 мм, вырезанных по одному из каждого листа и выдержанных в стандартных условиях. Испытанию можно подвергнуть отливки бумажного листа, полученные на ЛОА-1, или образцы промышленной бумаги, предварительно измерив их площадь. Если кромки образцов неровные, то их перед замером обрезают специальным ножом.

После измерения образцы взвешивают и определяют среднее математическое значение массы одного листа. Массу 1 м<sup>2</sup> бумаги вычисляют по формуле

$$g = \frac{m}{S}, \quad (5)$$

где  $g$  — масса 1 м<sup>2</sup> бумаги, г/м<sup>2</sup>;  $m$  — средняя масса образца, г;  $S$  — площадь образца, м<sup>2</sup>.

### 1.2.5. Определение толщины и плотности бумаги

Толщина листового материала, в том числе бумаги или картона, измеряется при воздействии на площадь испытуемого образца, равную 2 см<sup>2</sup>, давлением, создаваемым измерительным прибором в 0,1 МПа. Единицей измерения является микрон или миллиметр. В качестве измерительных приборов используют различные модификации толщиномеров или микрометров. Стационарный толщиномер состоит из корпуса, в который вмонтирован датчик чувствительностью ±1 мкм. В соответствии с ГОСТ 27015-86 (ISO 438, 534) измерительная пята перемещается со скоростью 6 мм/с к плоской стационарной пластине, на которой размещают образец исследуемой бумаги или картона. Значение толщины

материала фиксируется в момент, когда измерительная пята создает давление на образец, соответствующее 100 кПа. Полученное значение толщины материала считывается с цифрового табло прибора.

В случае испытания сверхтонких бумаг допускается одновременное измерение стопы из нескольких листов. В том случае, когда допуск на толщину измеряемой бумаги меньше допускаемой погрешности толщиномера, применяют столько слоев, чтобы суммарный допуск на их толщину превышал разрешаемую погрешность прибора.

Плотность бумаги зависит от многих факторов: свойств исходного полуфабриката, проклейки, наличия наполнителей и др. Она является достоверным качественным показателем при сопоставлении бумаги, имеющей одинаковую композицию: более высокая плотность в таких случаях свидетельствует о лучших механических свойствах, что обусловлено большим сопряжением волокон в процессе производства материала.

Плотность бумаги или картона вычисляют по формуле

$$\rho = g / \sigma, \quad (6)$$

где  $\rho$  — плотность бумаги или картона,  $\text{кг/м}^3$ ;  $g$  — масса  $1 \text{ м}^2$  образца,  $\text{г/м}^2$ ;  $\sigma$  — толщина образца, мм.

#### 1.2.6. Определение сорности бумаги

Сорность бумаги определяют визуальным способом, основанным на подсчете количества соринок в образце бумаги размером  $250 \times 250$  мм без морщин, складок и перегибов. Анализ определенных размеров соринок проводят с использованием микроскопа. Результат пересчитывают на площадь, эквивалентную  $1 \text{ м}^2$ .

Результаты анализов и расчетов представляют в виде табл. 1.

Таблица 1

**Характеристики контролируемых материалов**

Параметр	Единица измерения	Целлюлоза	Образцы бумаги		
			1-й	2-й	3-й
Влажность	%				
Зольность	%				
Содержание наполнителя	%				
Масса $1 \text{ м}^2$	$\text{г/м}^2$	—			
Толщина	мм	—			
Плотность	$\text{кг/м}^3$	—			
Сорность	фрагмент/ $\text{м}^2$	—			

## **Лабораторная работа № 2**

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРОФОБНЫХ СВОЙСТВ УПАКОВОЧНОЙ БУМАГИ И ТАРНОГО КАРТОНА**

Цель работы: освоить методики определения капиллярной впитываемости, при одностороннем смачивании, степени проклейки, величины рН водной вытяжки, динамической впитываемости и растяжения.

Химикаты и оборудование: образцы бумаги, аппарат Клемма, аппарат Кобба, насос Комовского, иономер, прибор определения динамической впитываемости PDA.C 02 и растяжения WSD 02.

#### **2.1. Теоретическая часть**

Бумажный лист характеризуется капиллярно-пористой структурой, которая сообщает бумаге впитывающую способность, что делает ее непригодной для письма и печати. Чтобы устранить этот недостаток, бумажную массу или готовую бумагу подвергают специальной обработке. Она заключается в введении или нанесении на бумагу специальных материалов.

В зависимости от способа придания бумажному листу гидрофобных свойств различают поверхностную и проклейку в массе. Наиболее распространена последняя с использованием целого ряда проклеивающих материалов, таких как клеи на канифольной основе, синтетические клеи на основе димеров алкилкетена, фенолформальдегида и др.

Для поверхностной проклейки используют клеи, способные образовывать на поверхности бумажного листа тонкую полимерную пленку, препятствующую проникновению воды. К таким материалам можно отнести крахмал и его производные, натрийкарбоксиметилцеллюлозу, клеи на основе ПВС и ПВА и др.

В общем случае, клеи для проклейки в массе разделяют на материалы, которые сообщают бумаге водостойкость, а также вещества, которые связывают волокна между собой в бумажном листе и, тем самым, способствуют повышению сомкнутости и механической прочности бумаги.

*Впитывающая способность* бумаги зависит от природы волокна и его химического состава, от степени помола массы, наличия проклеивающих веществ, наполнителей, от режимов прессования, сушки и отделки листа. Высокой впитываемостью обладают хлопковые волокна, целлюлоза лиственных пород древесины, древесная масса, а также облагороженная хвойная целлюлоза.

Впитывающая способность бумаги снижается с повышением степени помола массы, увеличением степени проклейки листа и повышением удельного давления при прессовании бумажного полотна на мокрых прессах, а также при каландрировании.

Увеличению впитываемости бумаги содействует повышение температуры первых сушильных цилиндров бумагоделательной машины, так как в этом случае на первой стадии сушки происходит бурное выделение паров воды, что снижает усадку бумажного полотна и способствует его разрыхлению, вследствие чего повышается его впитываемость. Введение минеральных наполнителей при производстве бумаги также увеличивает ее впитывающую способность.

*Капиллярная впитываемость* — это свойство бумаги поднимать по своим капиллярам воду или водные растворы. Ее определяют измерением высоты подъема воды или другой жидкости по капиллярам полоски бумаги, подвешенной вертикально и опущенной нижним концом в жидкость. Для этого используют прибор В-1 (аппарат Клемма) или В-2. В их конструкцию входит штатив, на котором находится подвижная поперечная планка с прикрепленными вертикальными линейками и зажимами для фиксации полосок бумаги. Цена деления — 1 мм, нуль совпадает с нижним концом линейки. Штатив снабжен уравнительными винтами для установки в горизонтальное положение. Внизу на нем помещается ванна для воды.

Термин «проклеенная бумага» не вполне точный. Так, например, когда говорят о степени проклейки писчих видов бумаги, то имеют в виду ее сопротивляемость растеканию и проникновению чернильных штрихов (чернилопроницаемость). Для оберточной бумаги показатель степени проклейки характеризует ее сопротивляемость прохождению воды или водных паров (влаги).

Клееные листы для технических целей должны удовлетворять специфическим требованиям водостойкости. *Степень проклейки бумаги* — показатель ее сопротивления произвольному проникновению воды, туши или чернил и растеканию их по поверхности. Данную характеристику писчей и печатной бумаги обычно определяют чернильно-штриховым методом и выражают шириной штриха в миллиметрах, при которой на материале еще не наблюдаются растекания чернил или проникновения их на обратную сторону. *Чернильно-штриховой метод* наиболее отвечает требованиям контроля качества листа, так как приближается к действительным условиям использования бумаги для письма, черчения и т. д. Для определения степени проклейки применяются стандартные темно-синие или фиолетовые чернила, изготовленные на водной основе.

Для определения степени проклейки чернильно-штриховым методом используют прибор ШПБ с четырьмя рейсфедерами. Он состоит из рамки, на которой установлена на ползунках специальная каретка с рейсфедерами, обеспечивающая одновременное равномерное нанесение на поверхность бумаги четырех штрихов с расстоянием между ними  $17 \pm 1$  мм. Рейсфедеры устойчиво закреплены на валу каретки под углом  $45^\circ$  к поверхности бумаги и имеют одинаковый равномерный нажим на ее поверхность с усилием, равным 500 мН. Степень проклейки соответствует ширине последнего штриха, который не растекся на поверхности бумаги и не перешел на противоположную сторону листа.

Современные способы контроля взаимодействия краски и бумаги характеризуются показателями красковосприятия, адгезии тонера и пр. и определяются при помощи пробопечатных устройств, различающихся между собой методикой воспроизведения того или иного способа печати.

Некоторые виды бумаги должны обладать высоким сопротивлением смачиванию и проникновению жидкостей, т. е. быть гидрофобными. Для них штриховой метод определения степени проклейки непригоден. В этом случае применяют следующие методы: сухого индикатора, Кобба, определения краевого угла смачивания и др.

*Метод сухого индикатора* основан на определении времени проникновения воды через толщу бумаги и увлажнения индикатора, помещенного на другую сторону листа. Для испытания берут пять образцов бумаги размером  $50 \times 50$  мм, измеряют толщину в каждом листе. Затем отгибают кверху края, ширина которых составляет 5 мм. На дно образовавшихся таким образом коробочек высеивают небольшое количество сухого индикатора через сетку № 24. После этого коробочку помещают в ванну с водой, имеющей температуру  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ , и одновременно включают секундомер. При появлении цветных крапинок на дне коробочки его останавливают и фиксируют время. Степень проклейки определяют по формуле

$$C_{\pi} = t / \sigma, \quad (7)$$

где  $C_{\pi}$  — степень проклейки, с/мм;  $t$  — время, с;  $\sigma$  — толщина бумаги, мм.

*Метод Кобба* основан на поглощении воды поверхностью бумаги. Степень проклейки, или впитываемость при одностороннем смачивании, выражается массой воды в граммах, поглощенной поверхностью  $1 \text{ м}^2$  за определенное время.

Прибор для определения степени проклейки по методу Кобба состоит из металлического цилиндра площадью внутреннего сечения  $100 \text{ см}^2$ , опорной плиты с приспособлением для прижатия цилиндра к поверхности бумаги и листа резины толщиной 1 мм.

Измеренные выше представленными методами гидрофобные свойства бумаги не дают представления о взаимодействии ее с печатной краской, а в случае офсетной печати — и взаимодействия с увлажняющим раствором. Наиболее часто используемые производителями бумаги методы контроля гидрофобных свойств писчих и печатных материалов (чернильно-штриховой метод и метод Кобба) основаны на восприятии ими воды или водных растворов красителей. Эти методы статичны и малоинформативны и не позволяют оценить поведение бумаги при одновременном взаимодействии с печатной краской и увлажняющим раствором.

Кроме того, за качество печати в первую очередь отвечает поверхностный слой бумаги. Для оценки ее молекулярно-поверхностных свойств широкое применение нашли методы оценки динамической впитываемости низковязких и высоковязких жидкостей. Принцип измерения основан на изменении ультразвукового сигнала, прошедшего через образец бумаги, контактирующей с жидкостью в специальной измерительной ячейке (рис. 1).

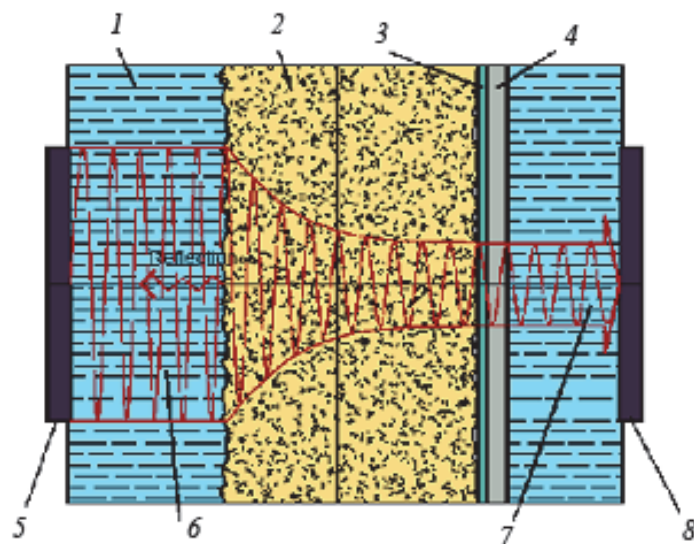


Рис. 1. Схематическое представление ультразвукового метода определения впитываемости:

- 1 — тестирующая жидкость; 2 — бумага; 3 — клейкая лента;
- 4 — держатель образца; 5 — источник УЗ-сигнала;
- 6 — схема передачи сигнала; 7 — схема приема сигнала;
- 8 — приемник УЗ-сигнала

Это изменение обусловлено следующими явлениями:

1) повышение уровня принимаемого сигнала вследствие уменьшения отражающей способности системы жидкость — бумага в результате увлажнения;

2) снижение уровня принимаемого сигнала из-за увеличения рассеивающей способности образца, обусловленной образованием воздушных пузырей в структуре бумажного листа вследствие неравномерной впитываемости;

3) увеличение уровня принимаемого сигнала из-за уменьшения поглощения сигнала порами и капиллярами бумаги после их заполнения жидкостью;

4) понижение уровня принимаемого сигнала вследствие уменьшения эластичности волокон образца (что характерно для жидкостей на основе воды).

В большинстве случаев при выборе материала на полиграфическом предприятии руководствуются только ее стоимостью, что приводит к снижению качества печатной продукции и повышению издержек производства. С другой стороны, выбрать конкретную марку бумаги, основываясь на нормативных документах производителя также достаточно сложно, так как документы регламентируют только основные показатели качества, зачастую не отражающие ее поведение в процессе печатания.

Такие технологические параметры, как степень поверхностной проклейки, поверхностная пористость, влаговосприятие и др. могут быть оценены по диаграмме зависимости степени интенсивности сигнала от времени. Чем быстрее наступит момент максимума интенсивности ультразвукового сигнала, тем ниже степень поверхностной проклейки.

Пористость или воздухопроницаемость бумаги, определяемые «воздушными методами», характеризуют лишь интегральные величины, в то время как впитывание печатной краски, определяющее первый этап закрепления и ответственное за отмарывание, осуществляется только поверхностными порами. Так, динамическое впитывание, измеренное ультразвуковыми методами при большей площади контакта с использованием в качестве жидкости изопропилового спирта, позволяет объективно оценить этот показатель. Получаемый в процессе анализа более выпуклый ход кривой свидетельствует о крайне малых размерах поверхностных пор и, как следствие, характеризуется снижением впитывающей способности по отношению к печатной краске.

*Степень линейной деформации* представляет собой величину, которая характеризует изменение линейных размеров образца по длине и ширине под действием воды.



При печатании многокрасочных изделий, когда листы для каждой краски пропускаются по нескольку раз, возникает опасность, что при офсетной печати произойдет изменение их линейных размеров. Такое отклонение вызовет несовмещение красок по контуру и ухудшение качества продукции.

Степень линейной деформации определяют в процентах либо как сокращение размеров увлажненного листа после высушивания к первоначальным размерам сухого, либо как изменение линейной деформации бумаги после намокания в воде или после обработки растворами углекислого калия и серноватистокислого натрия и последующего высушивания. Расстояние между исходными метками на бумаге до и после обработки измеряется специальной линейкой с оптическим визиром. Так как изменение линейных размеров в поперечном направлении больше, чем в продольном, то их производят в две перпендикулярные стороны.

## **2.2. Практическая часть**

### **2.2.1. Определение капиллярной впитываемости на аппарате Клемма**

Испытания проводят при температуре воды 20°C. Испытываемые образцы — полоски бумаги шириной 15 мм и длиной около 200 мм. Поскольку капиллярная впитываемость бумаги в машинном и поперечном направлениях неодинакова, то испытанию подвергают по три полоски в каждом из них.

Полоску бумаги прижимают металлическими тумбами и закрепляют зажимом на верхней планке так, чтобы она была слегка натянута. Затем медленно наливают воду. Ее уровень должен касаться измерительной линейки. Начиная с этого момента засекают точно 10 мин, по истечении которых снимают показания согласно линейкам, отмечая высоту поднятия воды по длине бумаги. Результаты заносят в табл. 2 и рассчитывают капиллярную впитываемость бумаги как среднее арифметическое всех определений в машинном и поперечном направлениях.

### **2.2.2. Определение степени проклейки бумаги по методу Кобба**

Образец бумаги, взвешенный на аналитических весах с точностью до 0,001 г, помещают на слой резины испытываемой стороной вверх.

Устанавливают цилиндр, который затем прижимают так, чтобы вода не просачивалась между торцом цилиндра и бумагой. Из мерной емкости наливают 100 мл воды в металлический цилиндр и одновременно включают секундомер. По истечении установленного времени (30 с) воду выливают, быстро снимают цилиндр, на мокрую поверхность бумаги накладывают фильтровальный лист и прокатывают отжимным валиком. Образец взвешивают на аналитических весах.

Степень проклейки по методу Кобба вычисляют по формуле

$$\Pi = (m_2 - m_1) K, \quad (8)$$

где  $\Pi$  — впитываемость бумаги при одностороннем смачивании, г/м<sup>2</sup>;  $K$  — коэффициент пересчета на площадь 1 м<sup>2</sup> ( $K = 226$ );  $m_1$  и  $m_2$  — масса образца бумаги соответственно до и после смачивания, г.

### **2.2.3. Определение степени проклейки чернильно-штриховым методом**

На поверхности образца бумаги откалиброванным рейсфедером медленно, с легким нажимом (рейсфедер должен быть расположен под углом 45° к поверхности листа), наносят штрихи длиной 100 мм с интервалом между ними 10 мм. Ширина первого штриха — 0,25 мм, каждого последующего увеличивают на 0,25 мм. Их нанесение продолжают до тех пор, пока чернильный штрих не начнет растекаться или проникать сквозь бумагу, а если этого не происходит, завершают разметку штрихом шириной 2 мм. Перед нанесением каждого штриха рейсфедер наполняют чернилами на высоту 10–12 мм.

Для воспроизводимости результатов штрихи должны иметь равномерное насыщение. Для этого после разметки штриха на бумагу к его концам прикасаются кончиком рейсфедера, наполненного чернилами, при этом из него стекает небольшое, но постоянное по всей длине штриха количество чернил. Образование «клякс» при наполнении штриха недопустимо.

Степень проклейки определяют после высыхания штрихов. Результатом анализа является ширина последнего штриха, не расплывшегося по поверхности и не перешедшего на обратную сторону образца. Концы штрихов длиной 10 мм не учитываются. Если испытуемый образец выдерживает штрих шириной 2 мм, то считают, что степень проклейки такой бумаги более 2 мм.

Испытанию подвергают не менее пяти листов. За окончательный результат принимают наиболее часто встречающийся показатель.

#### 2.2.4. Определение pH водной вытяжки

Вырезанный по шаблону образец бумаги помещают в воронку аппарата Комовского. Пропускают через него 100 мл дистиллированной воды и на иономере измеряют pH фильтрата. Прибор должен быть предварительно прогрет в течение 20 мин.

#### 2.2.5. Определение динамической впитываемости

Образец бумаги, вырезанный по шаблону, закрепляют при помощи клейкой ленты к держателю прибора определения динамической впитываемости PDA.C 02. Запускают процесс измерения в соответствии с руководством по эксплуатации. Для каждого образца фиксируют поверхностную степень проклейки, равную максимуму соответствующей кривой. Полученный результат заносят в итоговую табл. 2.

#### 2.2.6. Определение динамического растяжения при увлажнении

Анализ проводят на приборе динамического растяжения бумаги WSD 02. Лист бумаги или картона, вырезанного по шаблону, помещают в зажимы и подвергают натяжению определенной нагрузкой в зависимости от массы  $1 \text{ м}^2$  материала. При нажатии кнопки «ПУСК», образец погружается в ванну с тестируемой жидкостью (вода или изопропиловый спирт в зависимости от задания). Деформация листа определяется автоматически с момента соприкосновения с жидкостью. Измеренные значения отображаются на мониторе компьютера в виде графика зависимости относительного изменения размеров образца от времени увлажнения. В итоговую табл. 2 заносят значения относительного удлинения, соответствующие 10, 20, 30, 40, 50, 60 с наблюдения.

Таблица 2

**Характеристика гидрофобных свойств бумаги**

Параметр	Единица измерения	Образцы бумаги		
		1-й	2-й	3-й
Капиллярная впитываемость	мм			
Впитываемость при одностороннем смачивании	г/м <sup>2</sup>			
Степень проклейки	мм			
pH водной вытяжки	Ед.			
Степень поверхностной проклейки	с			
Динамическое растяжение при увлажнении, соответственно 10/ 20/ 30/ 40/ 50/ 60 с	%			

### Лабораторная работа № 3

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕЧАТНЫХ И ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭТИКЕТОЧНОЙ БУМАГИ И МЕЛОВАННОГО КАРТОНА

Цель работы: изучить методики определения оптических характеристик бумаги и картона, а также методы анализа печатных свойств листовых материалов.

Оборудование, материалы и химикаты: аналитические весы, секундомер, лейкометр Цейса, спектрофотометр «Колир», пробопечатный комплекс, стандарты Деннисона, приборы определения гладкости и шероховатости.

### 3.1. Теоретическая часть

*Белизна* какого-либо материала, в том числе и бумаги, не является четко определенной физической величиной. Понятие «степень белизны бумаги» означает лишь степень ее приближения к некоторой эталонной (идеальной) белизне при одинаковых условиях освещения и наблюдения. Поэтому белизна бумаги характеризуется как отношение энергии света, диффузно отраженного светопроницаемой поверхностью листа, к энергии света, отражаемой при тех же условиях освещения идеально белым телом, и определяется по степени затемнения эталона до белизны испытуемого образца бумаги.

Определение белизны бумаги проводят на различных оптических приборах, из которых наиболее распространенным является лейкометр. В нем световой поток от лампы накаливания проходит через оптическую систему и полупрозрачную пластинку и призмой направляется на испытуемый образец бумаги, помещенный в шар Ульбрихта. Отраженный материалом свет многократно отражается стенками шара и попадает на измерительный фотоэлемент. Освещенность белой поверхности шара зависит от белизны бумаги. Часть светового потока, пройдя полупрозрачную пластинку, систему линз, отражается зеркалом и через измерительную диафрагму попадает в другой шар Ульбрихта. Белая матовая внутренняя поверхность этого шара, покрытая сульфатом бария или оксидом магния, служит эталоном белизны. Отраженный стенками шара световой поток воспринимается сравнительным фотоэлементом. Перед ними помещены светофильтры. Обычно работают с синим фильтром. Измерительный и сравнительный фотоэлементы включены навстречу друг другу. Разность фототоков измеряется высокочувствительным гальванометром. Измерительную диафрагму вращают так,

чтобы привести к нулю показания прибора, и по его шкале отсчитывают значения белизны. Ее выражают в процентах в виде среднего арифметического результатов измерения белизны пяти образцов.

Особенностью измерения белизны современных бумаг и картонов, используемых в полиграфии, является наличие в композиции оптических люминесцентных отбеливателей. В связи с этим современные спектрофотометры для измерения белизны бумаги и картона оборудованы различными источниками света (А, С, Д65) и способны контролировать показатели при геометрии измерения в 2 и 10°. Для измерения белизны и цветовых характеристик листовых материалов, не содержащих оптических отбеливателей в качестве источника типа А, используют кварцевую галогенную лампу. Для создания излучения, соответствующего источнику Д65, используется излучение лампы накаливания и ультрафиолетовой (УФ) с корригирующим фильтром. Спектр излучения УФ-лампы, которая подсвечивает анализируемый образец, содержит полосу излучения с максимумом в области 365 нм. Такое воздействие позволяет компенсировать влияние оптических отбеливателей на показатель белизны бумаги. Источник С создается лампой накаливания и вводом в программную часть прибора корректирующих коэффициентов, пересчитывающих спектр излучения источника А в С.

В зависимости от требований стандарта на ту или иную бумагу определяют белизну либо отдельно верхней и сеточной сторон, либо как их среднее значение, либо одной из сторон.

При использовании спектрофотометров одновременно измеряют не только белизну листового материала, но и показатели прозрачности, светонепроницаемости, желтизны, определяют координаты цвета, цветоразличие и метамеризм.

Белизна является важным показателем качества самых разных видов бумаги (для печати и письма, чертежной, рисовальной, фотографической и др.), так как именно от нее зависит, насколько текст, чертеж или рисунок, напечатанные или выполненные рейсфедером, пером, кистью либо фотографическим способом контрастируют с поверхностью бумажного листа. Это во многом определяет и потребительскую ценность материала.

Белизна бумаги в основном обусловлена степенью белизны волокон, из которых она состоит, а также количеством использованных минеральных наполнителей, проклеивающих и окрашивающих веществ. Кроме этого, немало важным является качество используемой производственной воды — ее окраска, определяемая наличием тех или иных примесей, которые находятся в ней в растворенном или во

взвешенном состоянии. Все технологические факторы, способствующие повышению прозрачности бумаги (высокая степень помола волокнистой массы, значительное уплотнение листа в прессах и при каландрировании), одновременно снижают ее белизну. Так, например, пересушивание бумаги сопровождается ее пожелтением. В случае проклейки в кислой среде, а также при использовании в качестве наполнителя мела с течением времени бумага желтеет в результате химических реакций образования оксида кальция.

Оценить кислотно-основные свойства бумаги можно с помощью показателя pH водной вытяжки. Он характеризует условия изготовления бумаги, а, следовательно, физико-механические свойства листа. Чем ближе значение pH к 7,0, тем в большей степени пригодна данная бумага к письму чернилами или к печати. Кроме того, этот показатель особенно важен для диазобумаги, технологические условия производства которой требуют кислой среды.

Белизна одного и того же вида природного наполнителя, используемого при производстве писчих и печатных бумаг, бывает различной в зависимости от его месторождения. Искусственные наполнители отличаются постоянством цвета и высокой степенью белизны. Однако и при одной и той же белизне наполнителей и равном содержании их в бумаге она может быть различной. Это связано с осветляющим действием веществ, которое обусловлено главным образом степенью дисперсности и кроющей способностью. Такие свойства, как прозрачность или непрозрачность, определяются способностью поглощать, отражать и рассеивать световые лучи. Последнее в значительной мере зависит от степени однородности материала. Минеральный наполнитель, введенный в бумажную массу, увеличивает ее оптическую неоднородность и понижает прозрачность. Эффективность добавок в этом отношении различна. Она зависит от степени их дисперсности и коэффициента преломления световых лучей. Чем больше коэффициент преломления наполнителя отличается от волокна и чем выше степень дисперсности первого, тем больше он повышает светонепроницаемость бумаги. Важное значение имеет и коэффициент рассеивания света наполнителем: чем он выше, тем больше эффективность добавок.

Наибольшими коэффициентами преломления и рассеивания отличаются: двуокись титана, сульфид цинка и бланфикс. Эти же наполнители придают бумаге большую непрозрачность. Мел, каолин и тальк обладают коэффициентом преломления, очень близким к целлюлозе, и более низким — рассеивания, но, несмотря на это, данные вещества значительно повышают непрозрачность листа.

Особенно эффективны титановые наполнители (различные модификации диоксида титана), которые широко применяются в производстве тонкой бумаги для печати. Они способны придать ей хорошую непрозрачность при малом количестве пигмента без ослабления прочности листа.

Для повышения видимой белизны бумаги применяют оптически отбеливающие красители. Это бесцветные или слабоокрашенные вещества, действие которых основано на их способности к флуоресценции. Они поглощают энергию невидимой ультрафиолетовой части спектра, которую преобразуют в основном в виде флуоресценции — излучения видимого света от сине-фиолетового и до зелено-синего оттенка. Желтый оттенок целлюлозы компенсируется синим светом флуоресценции оптического отбеливателя, и поэтому бумага, в которой присутствует он, при дневном свете кажется светлее материала, изготовленного из хорошо отбеленной обычным способом целлюлозы.

Осветляющее действие оптического отбеливателя не следует смешивать с действием синего красителя, применяемого для подцветки бумаги, или с действием вводимых в нее белых пигментов. При его использовании (например ультрамарина) поглощаются длинные волны желтого и красного света, вследствие чего желтизна в известной степени компенсируется. При недостаточном количестве такого красителя видимая желтизна целлюлозы остается. Если увеличить дозировку подцвечивающего красителя, лист приобретает зеленый, синий или серый оттенок. Таким образом, применением подцвечивающих красителей нельзя добиться высокой и устойчивой белизны бумаги и картона.

При использовании белых пигментов (диоксид титана, сернистый цинк, карбонат кальция, сульфат бария и др.) с белизной бумаги, превышающей белизну волокнистых компонентов, она заметно повышается за счет «разбавления» желтого оттенка, который все же полностью не устраняется.

Белизна листа увеличивается тем больше, чем больше в ней содержится белого пигмента. Однако их количество, вводимое в бумажную массу, ограничивают как из экономических соображений, так и из опасений, что возникнет разносторонность бумаги по оттенку, снизится механическая прочность, будет потеряна гидрофобность листа и др. Род минерального наполнителя также имеет важное значение при формировании композиции бумаги. По возрастанию способности поглощать ультрафиолетовые лучи добавки могут быть расположены в следующем ряду: тальк, сульфат бария, каолин, сульфат цинка, диоксид титана (особенно вида рутил).

Таким образом, применение оптических отбеливателей имеет преимущества по сравнению с другими способами повышения белизны бумаги. Они не оказывают отрицательного влияния на основные свойства листа. Их использование в весьма малых количествах придает материалу высокую степень видимой белизны, которую не может обеспечить ни химическая отбелка волокнистых полуфабрикатов, ни введение белых пигментов, не говоря уже о красителях для подцветки.

Многочисленные оптические отбеливатели, применяемые в бумажной промышленности, отличаются строением и химической природой (эскулин, умбелиферон, производные кумарина и др.).

Оптические отбеливатели применяются для повышения белизны различных видов бумаги для письма и печати. Благодаря контрасту между белизной листа и цветом печатной краски или чернил, текст, нанесенный на подобную бумагу, выглядит особенно четким и приятным для глаза. Хорошие результаты дает применение оптических отбеливателей для повышения белизны основы фотоподложки, картографической бумаги, основы для парафинирования и многих других видов материала. Целесообразным является также введение оптических отбеливателей в белый покровный слой коробочного картона. Они применяются и в производстве пергамента, который становится светлее, одновременно повышается его непроницаемость для ультрафиолетовых лучей.

Обычные приборы, служащие для определения белизны бумаги, непригодны для измерения ее флуоресцентного свечения, содержащей оптический отбеливатель, так как источники света этих устройств излучают мало лучей в ультрафиолетовой области. Поэтому белизну бумаги, имеющей в своем составе оптический отбеливатель, называют видимой, подразумевая при этом визуальное восприятие ее человеческим глазом при дневном освещении. Для количественной характеристики белизны такого материала пользуются спектрофотометром — прибором, в котором в качестве источника света наряду с обычной лампой накаливания имеется ртутная (ультрафиолетовая).

*Пожелтение бумаги* — это термин, которым условно называют снижение ее белизны от воздействия световых лучей или повышенной температуры. Установлено, что пожелтение листа под влиянием света вызвано действием ультрафиолетовых лучей с длиной волны менее 360 мкм.

От светового разрушения бумага может быть защищена хранением в помещении без окон или с ними, закрытыми плотными шторами. Возможно также применение защитных пленок или стекол, задерживающих прохождение ультрафиолетовых лучей.



Процесс пожелтения листа ускоряется в случае, если она изготовлена из плохо промытой целлюлозы, содержащей остаточные лигнин и экстрактивные вещества. На поверхности бумаги, изготовленной из такой целлюлозы, выступают растворимые в воде окрашенные вещества. Пожелтение может также возникнуть под воздействием некоторых химикатов, вызывающих деструкцию целлюлозы.

Как известно, для придания бумаге различных свойств (например, блестящей поверхности, непроницаемости по отношению к воде, жиру, воздуху, пару и др.) ее покрывают пленками различных полимеров. Под действием тепла и света некоторые из этих покровных материалов желтеют. Так, пленка на основе поливинилхлорида под действием света может изменять свою окраску от желтой до коричневой. Это становится особенно заметно на белой бумажной основе. С другой стороны, пленка из полиэтилена стабильна и практически не изменяет цвет под действие света.

Кроме стандартных требований, которые предъявляются практически ко всем видам бумаги (разрывная длина, сопротивление излому, белизна и т. д.), под ее печатными свойствами понимают: гладкость, мягкость, впитывающую способность по отношению к печатным краскам, сопротивление бумаги к выщипыванию, пылимость, изменение линейной деформации под действием влаги, однородность всех показателей.

Под *гладкостью* понимают сомкнутость (сплошность) поверхности бумаги. В большинстве современных способов печати изображений используют растровый метод подготовки печатной формы, т. е. полутона передаются в виде набора точек. При использовании листа с невысокой гладкостью (т. е. имеющей шероховатую поверхность) часть растровых точек частично теряется, что приводит к искажению изображений. При недостаточно гладкой поверхности приходится увеличивать либо давление, либо количество подаваемой краски. В результате происходит забивание печатной формы, пробивание отпечатка на другую сторону бумаги, заплывание точек друг на друга, отмарывание оттиска. Здесь еще надо добавить, что отмарыванию способствует также накопление статического электричества.

Так как при офсетном способе печати в связи с эластичностью резинового декеля происходит частичная компенсация гладкости бумаги, то требования по данному показателю к ней довольно умеренные. Наибольшей гладкостью должна обладать бумага для глубокой печати. Это связано с тем, что переход краски из углублений печатной формы невозможен без плотного прилегания материала ко всем точкам формы.

Метод определения гладкости основан на установлении времени, требуемого для прохождения стандартного объема воздуха между поверхностью бумаги и стеклянной полированной пластиной в принятых условиях. Гладкость листа выражают в секундах.

Простым эмпирическим способом определения гладкости может служить методика Кларка. Специально отмученный мел наносят на стандартную поверхность листа, а затем удаляют его лезвием бритвы. Остаток мела определяют взвешиванием или титрованием.

Близким, по сути, методу определения гладкости является определение *шероховатости* бумаги при помощи потока воздуха. Сущность способа состоит в измерении количества подаваемого при постоянном давлении воздуха, прошедшего за определенный период времени между поверхностью листа и металлического шлифованного кольца.

Истинное значение шероховатости можно получить, используя профилометр. Неровности поверхности бумаги исследуются щупом, сигнал от которого записывается в виде соответствующей профилограммы. В настоящее время вместо щупа используется луч лазера или ультразвук. Существует ряд параметров шероховатости, среди которых наиболее часто используется среднее арифметическое абсолютных отклонений профиля, где под последним понимают расстояние между любой точкой профиля и ее средней линией.

Еще одним методом определения шероховатости бумаги является использование для этих целей пробопечатного устройства. Его сущность состоит в мгновенном растискивании капли воды по поверхности листа и последующем определении площади пятна растискивания. Поверхность бумаги от впитывания защищают тончайшим слоем лака. Шероховатость определяют как объем воды, требуемый на заполнение неровностей на поверхности  $1\text{ м}^2$ .

Одним из свойств материала, которое позволяет обеспечить контакт, является *мягкость*. Даже если поверхность имеет недостаточную гладкость, то чем мягче лист, тем легче обеспечить эффективный контакт между ним и печатной формой. Мягкость бумаги определяется ее сжимаемостью, т. е. способностью изменять толщину при приложении к ней различного давления.

Для офсетной бумаги мягкость практического значения не имеет, так как эластичен резиновый декель. Кроме того, ее увлажнение при этом способе печати также способствует увеличению мягкости.

Проведенные исследования показали, что исходная гладкость материала оказывает большее влияние на печатные свойства, чем мягкость, поэтому в настоящее время последний показатель не нормируют.

Оптимальная *впитывающая способность* бумаги по отношению к краскам нужна для их закрепления на поверхности. Если ее впитывающая способность незначительна, то замедляется время высыхания вещества и может произойти *отмарывание* (переход краски с отпечатка на обратную сторону вышележащего оттиска). Этому способствует очень высокая пористость. Однако, лишившись связующего, пигмент может осыпаться.

В основу определения впитываемости красок положено установление времени закрепления связующего, растворенного в ксилоле. Для этого краска в нем наносится на бумагу и определяется время исчезновения зеркала раствора. На практике впитываемость определяют как время, за которое на свежотпечатанном оттиске исчезнет глянец. Существующие методы определения впитываемости по отношению к большинству видов материалов не нормируются. Только для бумаги для глубокой печати определяется впитываемость по воде.

Прочность поверхности является мерой сопротивления листа *выщипыванию* волокна в процессе печатания. При использовании вязких и липких красок, а также в случае слабого сцепления волокон на поверхности материала наблюдается отрыв краски вместе с бумажной основой. Для мелованной бумаги выщипывание может также проявляться в отрыве покрытия без нарушения поверхности оттиска. В связи с большой площадью контакта наибольшим сопротивлением к выщипыванию должна обладать офсетная бумага.

Существует несколько методов установления выщипывания. Первое, без краски, основано на определении усилия, необходимого для отрыва полоски стандартного образца бумаги, приклеенного к металлической пластине. По другому способу используют специальные откалиброванные восковые палочки. Их расплавляют, прикладывают к поверхности листа, дожидаются охлаждения и затем быстрым движением их отрывают. Номер восковой палочки, при котором бумага выдержала испытание, принимается за меру прочности ее поверхности. Данный тест не применим к мелованным видам бумаги.

Лабораторное печатное устройство предназначено для определения выщипывания поверхности бумаги краской. Оно позволяет получить оттиск с нарастающей скоростью печати. Обычно она колеблется в диапазоне 1–4 или 1–8 м/с. Ширина печатной формы небольшая и составляет 10 или 20 мм. Пробопечатное устройство способно также имитировать условия офсетной и глубокой печати. Средняя толщина красочного слоя на форме может колебаться от 0,8 до 8 мкм. На запечатанной полоске определяют расстояние от начала запечатывания до

повреждения поверхности листа. По специальному графику определяют скорость печатания, при которой начинается повреждение материала — выщипывание волокна, расслаивание бумаги основы (для мелованных видов). Эта величина и характеризует выщипывание. Обычно она нормируется для офсетной и мелованной бумаги.

Метод определения *пылимости* основан на отделении пылинок с поверхности бумаги и удержании их на резине валика при прокатывании образца между металлическим и гуммированным валиками. Приставшие к резине пылинки подсчитываются с помощью увеличительной линзы. При наличии офсетной машины возможно пропускание бумажных листов через нее, с последующим определением пылимости на резиноканевой пластине.

## 3.2. Практическая часть

### 3.2.1. Определение белизны и цветовых характеристик

Измерение проводят на лейкометре (рис. 2). Вертикальные штрихи деления означают десятки, штрихи на самом барабане — целые проценты и десятые их доли. Образцы, подвергаемые испытанию на белизну, не должны быть мятыми.

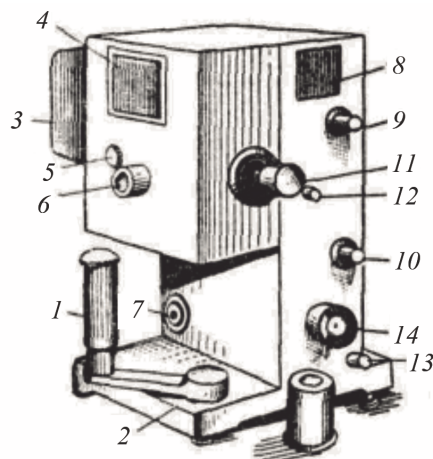


Рис. 2. Внешний вид лейкометра:

1 — держатель проб; 2 — плита; 3 — оптический блок; 4 — ниша; 5 — окно наблюдения; 6 — ручка смены фильтра; 7 — измерительная кнопка; 8 — выключатель измерителя; 9, 10 — ручки потенциометров; 11 — измерительный барабан; 12 — кнопка регулирования серого кругового клина; 13 — ручка регулирования нуля электрометра; 14 — патрон лампы

Последовательность действий:

- 1) включить трансформаторы (большой и малый) и дать прогреться прибору в течение 15 мин;
- 2) проверить положение светофильтра — он должен находиться в позиции «синий свет»;
- 3) ручкой 9 и 10 установить нить по центру;
- 4) положить измеряемый образец бумаги на держатель проб 1 и включить тумблер измерителя 8, открыв шторку осветителя;
- 5) плавно вжать кнопку измерителя 7 и держать ее в ходе измерения, одновременно вращая измерительный барабан 11 до тех пор, пока нить не установится по центру;
- 6) снять показания белизны.

Для определения цветовых характеристик бумаги и картона используют стационарные спектрофотометры. В случае применения устройства «Колир» порядок измерений производится в соответствии с инструкцией по эксплуатации. Прибор предназначен для измерения яркости (белизны), цветности, непрозрачности и других параметров продукции целлюлозно-бумажной промышленности, в том числе и содержащей оптические люминесцентные отбеливатели, для 2 и 10° стандартного наблюдения, при источниках света А, С, D65, в спектральном диапазоне от 360 до 700 нм, при геометрии освещения и наблюдения d/0.

В процессе измерения образцов бумаги и картона определяют следующие характеристики:

- 1) ISO — яркость (R457 белизна);
- 2) белизна W и оттенков;
- 3) цветность: XYZ, R<sub>x</sub>, R<sub>y</sub>, R<sub>z</sub>, L, a, bL\*, a\*, b\*L\*, C\*, h\*x, y, Y;
- 4) цветовое различие двух образцов, либо измеряемого образца и стандарта;
- 5) флуорисцентность (оптическая яркость);
- 6) непрозрачность;
- 7) желтизна.

Полученные данные заносят в итоговую табл. 3.

### **3.2.2. Определение выщипывания на пробопечатном оборудовании**

Для определения выщипывания используют комплекс, включающий пробопечатное устройство IGT-P и краскораскатное HSIU-4. Особенностью последнего является возможность нанесения красочно-

го слоя постоянной и воспроизводимой толщины на печатные диски. Прибор содержит раскатный механизм с возможностью температурного контроля, обеспечивающего одновременно на четыре печатные формы. Управление и программирование процесса нанесения осуществляется при помощи меню в соответствии с инструкцией по эксплуатации устройства. Особенностью пробопечатного прибора IGT-R является способность нанесения тестовой смолы заданной вязкости или печатной краски с нарастающей скоростью от печатного цилиндра на образец бумаги.

Анализ проводят в следующей последовательности:

- 1) исследуемый материал нарезают на образцы размером 300×40 мм;
- 2) на резиновый вал краскораскатного устройства с установленными печатными дисками наносят тестовую смолу средней вязкости в количестве, определенном преподавателем;
- 3) в соответствии с заданием программируют краскораскатное устройство и производят перенос тестовой смолы на печатный диск;
- 4) образец бумаги устанавливают на диске пробопечатного устройства, фиксируя его зажимами и одновременно устанавливают печатный диск, снятый с краскораскатного прибора;
- 5) в соответствии с инструкцией эксплуатации пробопечатного устройства IGT-R производят перенос тестовой смолы с печатного диска на анализируемый образец бумаги;
- 6) полученный оттиск анализируют в ультрафиолетовом свете с целью определения расстояния, на котором наблюдается разрушение поверхности бумажного листа, и по тарировочному графику определяют значение скорости в данной точке.

Полученный результат заносят в итоговую табл. 3.

### **3.2.3. Определение выщипывания стандартами Деннисона**

Стандарты Деннисона представляют собой набор восковых палочек с различной степенью клейкости. Он имеет рабочую поверхность 18×18 мм и отличается от других собственным номером и цветом. При помощи данного набора быстро и эффективно определяют стойкость листовых материалов к выщипыванию в соответствии с требованиями TAPPI T459. При проведении испытаний, подходящий стандарт разогревают над спиртовой лампой и прижимают к испытуемому участку образца с использованием деревянной подставки. После охлаждения, стандарт вертикально отрывается от него, а поверхность бумаги подвергается визуальному осмотру. Анализ проводят набора-

ми в соответствии с возрастанием номера. За результат принимают последний номер стандарта, при котором не наблюдается разрушение поверхности листа. Полученные данные заносят в итоговую табл. 3.

### 3.2.4. Определение гладкости

Измерение гладкости бумаги и картона проводят на приборе ПОГ-2М в соответствии с методом Бекка и согласно ГОСТ 12795-89 путем измерения времени прохождения определенного объема воздуха между поверхностью испытуемого материала и стеклянной полированной пластиной при заданном уменьшении разрежения в вакуумной камере. Исследуемые образцы анализируют с сеточной и лицевой сторонами в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора. Полученный результат заносят в итоговую табл. 3.

### 3.2.5. Определение шероховатости

Измерение шероховатости бумаги и картона проводят на приборе Parker Print Surf в соответствии с методом Паркера. Его принцип действия аналогичен устройству определения гладкости, но в ином диапазоне создаваемого давления и объема камеры. В связи с этим, функциональной связи между результатом измерения гладкости по Бекку и шероховатости по Паркеру не существует. Исследуемые образцы анализируют с сеточной и лицевой сторонами в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора. Полученный результат заносят в итоговую табл. 3.

Таблица 3

**Характеристика оптических и печатных свойств бумаги**

Параметр	Единица измерения	Образцы бумаги и картона		
		1-й	2-й	3-й
Белизна	%			
Яркость	%			
Желтизна	%			
Непрозрачность	%			
Стойкость поверхности к выщипыванию	м/с			
Стойкость поверхности к выщипыванию (по Деннисону)	№			
Гладкость	с			
Шероховатость	с			

## **Лабораторная работа № 4**

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ УПАКОВОЧНОЙ И МЕШОЧНОЙ БУМАГИ**

Цель работы: изучить методики определения относительного удлинения и влагопрочности бумаги, сопротивления разрывному усилию в сухом и во влажном состоянии, излому.

Оборудование, материалы и химикаты: аналитические весы, секундомер, резак, разрывная машина Testometric 350-1СТ, прибор для испытания на перегиб И-1-3, прибор определения жесткости Piratester, фильтровальная бумага, резиновый валик.

#### **4.1. Теоретическая часть**

Бумага — упруго-пластический материал, и этим во многом определяются такие его свойства, как механическая прочность, деформация линейных размеров и некоторые другие.

*Механическая прочность* является одним из основных свойств большинства видов бумаги. Повышенные требования в этом отношении предъявляются к таким ее видам, как мешочная, шпагатная, оберточная и т. п., что объясняется потребительскими целями их использования. Однако и к другим видам бумаги, например к писчей, предъявляются требования по данной характеристике. Как известно, стандарт предусматривает для нее требования механической прочности на разрыв. Это обусловлено необходимостью получения бумаги на современных быстроходных бумагоделательных машинах без обрывов, что особенно важно для последующего использования на быстроходных продольно-резательных станках и типографских ротационных устройствах.

Прочность листа в зависимости от природы воздействующей на него силы выражают различными показателями. Они характеризуют сопротивление бумаги разрыву, излому, продавливанию, надрыву, ударной нагрузке и др.

Прочность бумаги прежде всего зависит от следующих факторов:

- 1) сил сцепления волокон между собой в готовой бумаге и площади, на которой действуют эти силы;
- 2) прочности самих волокон, их гибкости и размеров;
- 3) расположения волокон в структуре бумажного листа, их ориентации, плотности укладки;
- 4) использования различных добавок, повышающих прочность.



Разные прочностные характеристики бумаги в неодинаковой степени зависят от указанных факторов. Например, сопротивление разрыву больше зависит от сил сцепления между волокнами и прочности, чем от их длины; сопротивление излому — от длины волокон, их гибкости и прочности, чем от сил связи между ними. На показатель сопротивления раздиранию в значительно большей мере оказывает влияние длина и прочность составляющих бумагу волокон, чем величина сил связи между ними. Более подробно об этом будет сказано при рассмотрении каждой характеристики прочности листа.

Такую прочностную характеристику бумаги, как сопротивление разрыву, оценивают не только величиной *разрывного груза*, т. е. силой, под воздействием которой происходит ее разрыв, но и *разрывной длиной*. Этот условный показатель соответствует длине полоски бумаги шириной 15 мм, при которой она, будучи подвешена за один конец, порвется под влиянием силы собственной тяжести.

У обычной бумаги, изготовленной на бумагоделательной машине, показатели прочности в продольном и в поперечном направлениях листа различаются: сопротивление разрыву больше в продольном направлении, т. е. в направлении движения листа на бумагоделательной машине. Это объясняется преимущественной ориентацией волокон в указанном направлении. Таким образом, и разрывная длина бумаги в продольном направлении обычно значительно выше, чем в поперечном.

*Относительное удлинение бумаги* до разрыва характеризует ее способность растягиваться под нагрузкой без разрыва. При практическом применении лист обычно подвергается меньшей нагрузке, чем величина его разрывного груза, поэтому дать характеристику материала до разрыва бывает более важным, чем определить силу, которая вызывает его разрыв. В ряде случаев показатель относительного удлинения бумаги до разрыва, выраженный в процентах, лучше характеризует ее прочностные свойства, чем значения сопротивления разрыву, выраженные в единицах силы (разрывной груз) или разрывной длины.

На показатель относительного удлинения бумаги существенным образом оказывает влияние длина волокон, их гибкость, а также силы связи между ними. Практика показывает, что наибольшей способностью удлиняться отличаются, при прочих равных условиях, длинно-волоконистые виды листа. При определении результирующего влияния других двух факторов (гибкость волокон и силы связи между ними) следует учитывать, что они действуют не строго в одном направлении. Например, увлажнение бумаги способствует увеличению гибкости волокон и ослаблению связи между ними. Если это ослабление

не превзойдет определенного предела, то оно положительно скажется на показателе относительного удлинения материала, так как с устранением жесткого закрепления волокон улучшается их подвижность и скольжение, уменьшается хрупкость. Известно, что сухая и тем более пересушенная бумага отличается пониженной способностью удлиняться до разрыва. Однако чрезмерное увлажнение отрицательно сказывается на характеристике относительного удлинения листа до разрыва, так как силы связи между волокнами будут настолько слабыми, что она не сможет противостоять приложенной к ней растягивающей силе: сразу же произойдет разрыв без сколько-нибудь заметного удлинения полоски.

Показатель *сопротивления бумаги излому* — характеристика, которая характеризует способность полоски образца шириной 15 мм выдержать многократный излом на угол в  $180^\circ$ . Он зависит от длины волокон, их прочности, гибкости и сил связи между ними. Наиболее высоким сопротивлением излому характеризуется бумага, изготовленная из некоторых видов синтетических, прочных и длинных волокон, отличающихся гибкостью и образующих между собой в бумажном листе прочные связи.

Так как сопротивление бумаги излому в значительной мере обусловлено гибкостью волокон, очевидно, что для этого показателя прочности важными являются факторы, определяющие указанные свойства волокон, а именно: их строение, толщина и влажность. Наличие в составе бумаги или картона коротких и жестких волокон древесной массы резко снижает сопротивление этих материалов излому.

Значительное увеличение толщины и массы  $1\text{ м}^2$  образца заметно снижает сопротивление излому. Это связано, во-первых, с его высокой жесткостью, а во-вторых, с возникновением при изломе значительных растягивающих напряжений в поверхностном слое — в толстом материале они намного больше, чем в тонком.

Чрезмерное уплотнение бумаги при прессовании или увеличение плотности листа в результате введения в его композицию минерального наполнителя, приводит к снижению сопротивления излому.

*Влагопрочность* (прочность бумаги, находящейся во влажном состоянии) является важной характеристикой не только специальных видов материала, которые при использовании или переработке увлажняются, но и различных видов писчей и печатной бумаги. Известные требования прочности во влажном состоянии предъявляются к любому ее виду, но особенно, изготавливаемой на быстроходных бумагоделательных машинах. Прочность листа во влажном состоянии возрастает при увеличении содержания в нем целлюлозы.

О влагопрочности бумаги судят по степени сохранения ею во влажном состоянии той прочности, которую она имела до увлажнения, находясь в воздушно-сухом состоянии.

Таким образом, мерой влагопрочности является выраженное в процентах отношение разрывного груза влажного материала к разрывному грузу той же бумаги, находящейся в воздушно-сухом состоянии. Иногда отношение разрывных грузов заменяют положением соответствующих сопротивлений продавливанию.

Следует сказать, что влагопрочность листа типа фильтровального практически равна нулю, так как при определении разрывного груза этой бумаги, находящейся во влажном состоянии, она не выдерживает натяжения в разрывной машине и легко расползается. Влагопрочность большинства обычных видов бумаги находится в пределах 3–10% и редко достигает 14%.

Материал с минеральным наполнителем в композиции обычно имеет меньшую влагопрочность по сравнению с бумагой, в которой он отсутствует. Объясняется это тем, что добавка увеличивает пористость листа и, следовательно, облегчает проникновение воды во все пространства между волокнами.

Влагопрочность материала зависит от природы увлажняющей жидкости. Полярные жидкости, например вода, способствуют набуханию; в органических — целлюлоза набухает слабо.

Степень набухания зависит также от молекулярной массы жидкости. Причем, чем ниже она и выше полярность жидкости, тем больше набухание и меньше влагопрочность мокрой бумаги.

Область применения различных видов бумаги и картона, обладающих высокой влагопрочностью, весьма обширна.

Характерными для этой области являются условия, когда материалы в процессе эксплуатации или обработки непосредственно соприкасаются с влагой: с атмосферными осадками (мешочная бумага); с влажными продуктами (оберточная и упаковочная бумага, тарный картон); с влагой, требующей удаления (бумага для полотенец, салфеток и т. п.); с наносимыми на их поверхность жидкими клеями (обойная бумага); с наносимыми синтетическими смолами (картографическая бумага, предназначенная для печати морских и полевых карт).

Для придания бумаге влагопрочности, применяются различные средства. Обычно это химические добавки на основе полимерных смол — «Водамин», мочевино-формальдегидной или меламина-формальдегидной смолы и др.

## 4.2. Практическая часть

### 4.2.1. Определение сопротивления бумаги разрыву

Сопротивление разрыву измеряется на универсальной разрывной машине (динамометре). Испытанию подвергают не менее трех полосок бумаги в машинном направлении и трех — в поперечном. Для испытания промышленных образцов устанавливают расстояние между зажимами 100 или 180 мм. Длина полосок, с учетом припуска на закрепление в зажимах, должна превышать расстояние между ними на 40–50 мм, ширина полосок во всех случаях —  $15 \pm 0,15$  мм. Скорость перемещения составляет 150 м/мин (рис. 3–5).

Результаты испытаний записывают в табл. 4 и рассчитывают средние значения разрывного усилия и удлинения в машинном и поперечном направлениях и среднее по двум направлениям.

Разрывная длина рассчитывается по формуле

$$L = l \cdot \frac{P}{m}, \quad (9)$$

где  $L$  — разрывная длина бумаги, м;  $l$  — расстояние между зажимами, мм;  $P$  — разрывное усилие, кгс;  $m$  — масса полоски бумаги между зажимами, г.

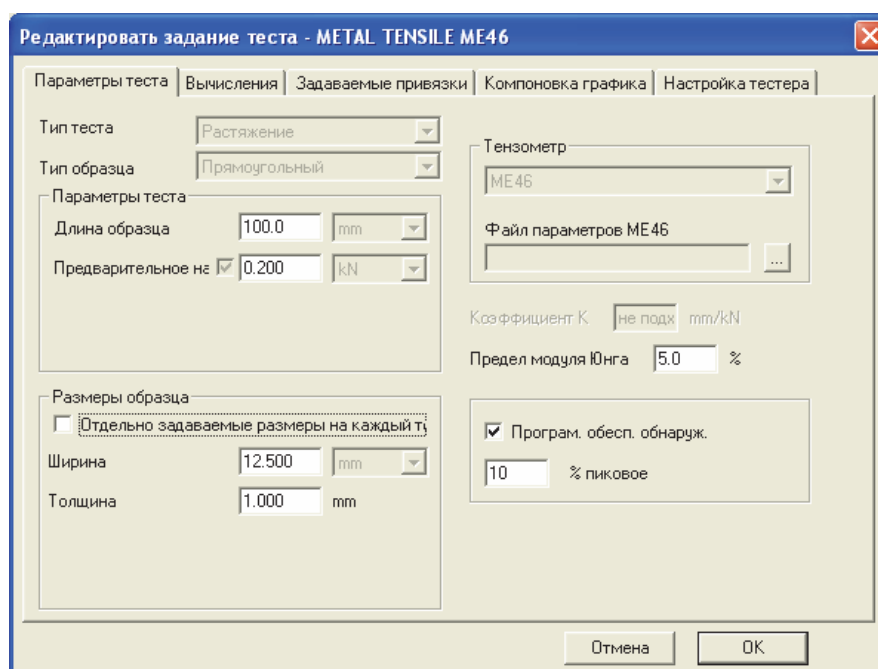


Рис. 3. Настройка параметров испытания

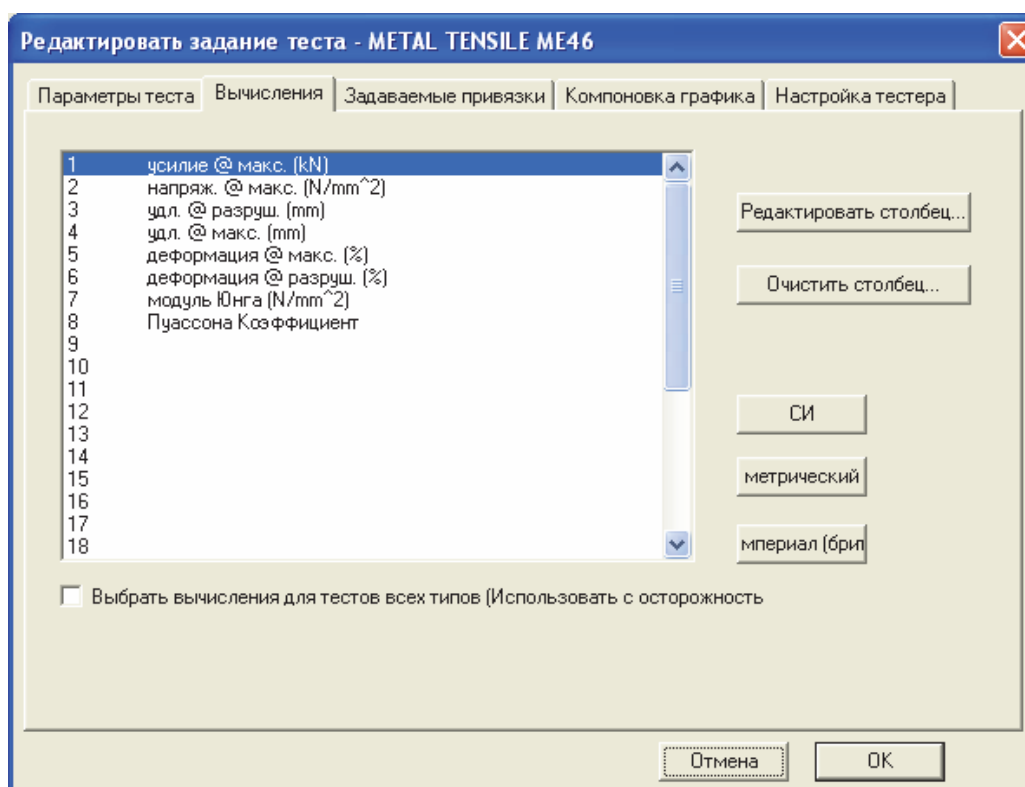


Рис. 4. Настройка вычислений

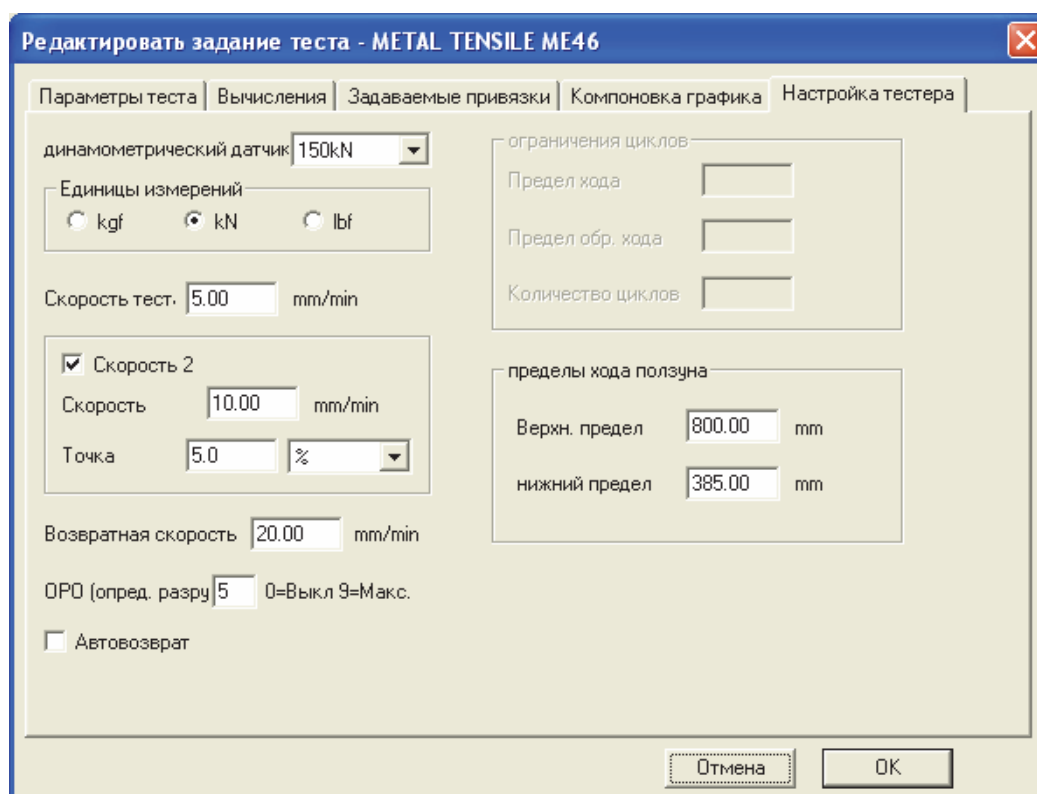


Рис. 5. Настройка разрывной машины

Испытания проводят в следующей последовательности:

1) устанавливают необходимое расстояние между зажимами и скорость перемещения подвижной траверсы и максимальный предел силоизмерительного датчика;

2) закрепляют образец в зажимах в слегка натянутом состоянии, наблюдая, чтобы не было его перекоса;

3) обнуляют показания силоизмерительного датчика;

4) дают команду на нагружение испытуемого образца. В момент его разрыва верхний подвижной зажим автоматически останавливается и фиксируется значение нагрузки в момент разрушения образца, а также длина пути перемещения траверсы;

5) бритвой или острым ножом срезают куски разорванной полоски у самого основания зажимов и взвешивают их до четвертого знака на аналитических весах;

6) если полоска при испытании разрывается у самого зажима или внутри него, это указывает на неправильное ее закрепление, и опыт необходимо повторить с новой полоской бумаги. Эксперимент можно считать проведенным правильно, если полоска разорвалась на расстоянии не менее 1 см от зажимов.

#### **4.2.2. Определение влагопрочности бумаги**

Образец бумаги помещают в воду на 1 мин. По истечении этого времени полоску достают, прокатывают на фильтровальной бумаге и затем снимают показатель разрывного усилия во влажном состоянии образца. Расчет проводят по формуле

$$V_L = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100, \quad (10)$$

где  $V_L$  — влагопрочность бумаги, %;  $P_1$  и  $P_2$  — разрывное усилие соответственно в сухом и влажном состоянии, кгс.

#### **4.2.3. Определение сопротивления бумаги излому**

Сопротивление излому выражается количеством двойных перегибов полоски бумаги шириной 15 мм и длиной 150 мм. Образец листа закрепляют с помощью зажимов и включают прибор. Проводят по три опыта в продольном и поперечном направлениях. Итог выражают как среднее арифметическое. Результаты работы сводятся в табл. 4.

#### 4.2.4. Определение жесткости бумаги и картона

Прибор для определения жесткости картона измеряет силу упругости, возникающую при изгибе образца по линии биговки на  $15^\circ$ , либо — на  $90^\circ$ . Контрольный отсчет производится после выдержки образца в изогнутом состоянии в течение 15 с. При изгибе лист упирается в силоводящий элемент (нож), и измеренное значение силы отображается на дисплее.

Перед началом серии измерений, а также перед выполнением очередного опыта в серии показания дисплея следует «обнулять». Перед помещением образца в зажим следует нажать кнопку «Zero-Check (Проверка нуля)» и при необходимости подстроить нулевой сигнал. Лист картона следует поместить в соответствующий зажим (D — для определения жесткости либо К — для определения жесткости линий биговки). Поворотом зажима осуществляется изгиб (нагружение) образца, при этом автоматически запускается таймер времени выдержки. На дисплее начинает отображаться текущая нагрузка и загорится индикатор таймера. По истечении 15 с он гаснет и на дисплее остается результат измерений (жесткость образца). Это значение остается на экране до начала следующего измерения.

Для определения жесткости требуются образцы  $70 \times 38$  мм. Их готовят при помощи специального ножа отдельно для машинного (МН) и поперечного (ПН) направлений. При этом сторона, вдоль которой измеряется жесткость, должна быть 70 мм, как показано на рис. 6.



Рис. 6. Схема подготовки образца

Иногда листы картона имеют начальный изгиб. В такой ситуации возможны два случая (рис. 7). В случае, если образец изогнут в сторону силоизмерителя (рис. 7А), то он будет воздействовать на

него уже в исходном положении зажима, что приведёт к большей силе при его повороте и неточности результата измерений. В другом случае, образец может быть изогнут в противоположную сторону (рис. 7В), не касаться ножа. В этой ситуации при повороте зажима угол изгиба при измерении будет менее  $15^\circ$ , что снова приведёт к некорректным результатам.

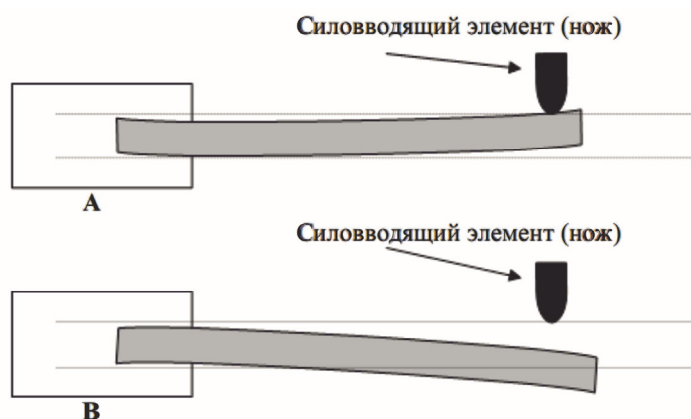


Рис. 7. Дефект крепления образца

В обоих описанных случаях, предварительно установив зажим в стартовое положение, потянув его на себя за направляющую, следует использовать регулировку угла поворота зажима. Для этого необходимо отпустить фиксаторный винт и повернуть зажим в правильное положение для начала измерений. Далее следует зафиксировать зажим винтом в правильном положении. В этом случае угол изгиба по-прежнему будет составлять  $15^\circ$ . Полученный в ходе анализа результат необходимо преобразовать в единицы (Н·мм).

#### 4.2.5. Определение жесткости по линии биговки бумаги и картона

Для определения жесткости по линии биговки можно использовать тот же нож, что и в случае определения жесткости картона, при этом линии биговки должны располагаться поперек образца (рис. 8). Лист представляет собой квадрат со стороной 38 мм и расстоянием от одного из краев до ближайшей линии биговки — 24 мм. Если линии биговки располагаются поперек машинного направления (МН), то такой образец принято обозначать МН-биговка (от обозначения соответствующего образца без биговки). Аналогично, образец с биговкой вдоль машинного направления обозначают ПН-биговка.



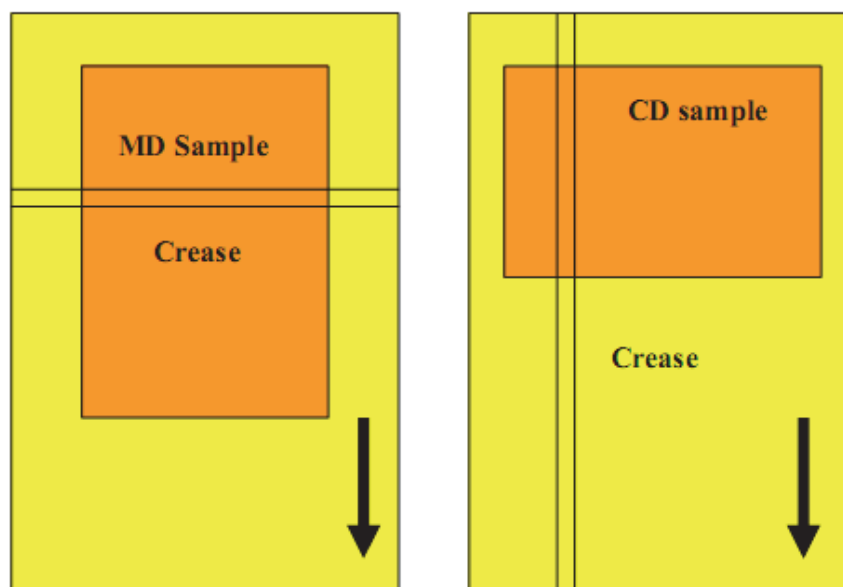


Рис. 8. Схема подготовки образца

Для подготовленных образцов с биговкой крайне важно, чтобы материал не сгибался до начала опытов.

Проведение испытаний аналогично методике определения жесткости картона. Полученный результат пересчитывают в единицы (Н·мм) и заносят в итоговую табл. 4.

Таблица 4

**Характеристики механической прочности бумаги и картона**

Параметр	Единица измерения	Направление волокна		Среднее значение
		продольное	поперечное	
Разрывное усилие в сухом состоянии, кгс	кгс			
Масса полоски между зажимами	г			
Разрывная длина	м			
Относительное удлинение	%			
Разрывное усилие во влажном состоянии	кгс			
Влагопрочность	%			
Сопротивление излому	ч.д.п.			
Жесткость картона	Н·мм			
Жесткость по линии биговки	Н·мм			

## **Лабораторная работа № 5**

### **АНАЛИЗ БУМАГИ ДЛЯ ГОФРИРОВАНИЯ И КАРТОНА ДЛЯ ПЛОСКИХ СЛОЕВ ГОФРИРОВАННОГО КАРТОНА**

Цель работы: изучить методики определения показателей качества бумаги для гофрирования и картона для плоских слоев гофрированного картона.

Оборудование, материалы и химикаты: аналитические весы, сикундометр, микрометр, резак, разрывная машина Testometric 350-1СТ, прибор определения сопротивления продавливанию ЕС 35 и ЕС 36, пресс для испытания компонентов гофрокартона К440, гофрообразователь, ножи для подготовки образцов, резиновый валик, металлический бокс, эксикатор, сушильный шкаф.

#### **5.1. Теоретическая часть**

Бумага для гофрирования — это бумага, предназначенная для изготовления внутренних гофрированных слоев, используемых в производстве гофрокартона. Гофробумага, сырьем для которой является полуцеллюлоза, получила название Fluting («флутинг»).

Ее производство выполняется в соответствии с нормативным документом ГОСТ 7377-85 либо Техническими Условиями, разработанными на предприятии. ГОСТ предусматривает деление бумаги на четыре марки с условными обозначениями Б-0, Б-1, Б-2 и Б-3. Существует также и другая классификация, согласно которой все марки делятся на клееные (К) и неклеенные (НК).

Бумага для гофрирования марки Б-0 имеет массу до  $140 \text{ г/м}^2$  (в зависимости от категории качества). Ее удельное сопротивление разрыва составляет не менее  $8 \text{ кН/м}$ , сопротивление торцевому сжатию — не менее  $1,35 \text{ кН/м}$ , сопротивление плоскостному сжатию — не менее  $310 \text{ Н}$ , а абсолютное сопротивление продавливанию — не менее  $320 \text{ кПа}$ .

Бумага для гофрирования марки Б-1 изготавливается из сульфатной небелёной целлюлозы и имеет массу до  $140 \text{ г/м}^2$ . Удельное сопротивление разрыва данной марки составляет не менее  $9 \text{ кН/м}$ , сопротивление торцевому сжатию — не менее  $1,5 \text{ кН/м}$ , сопротивление плоскостному сжатию — не менее  $350 \text{ Н}$ , а абсолютное сопротивление продавливанию — не менее  $370 \text{ кПа}$ .

Бумага для гофрирования марки Б-2 производится из смеси различных ненормированных материалов и сульфатной небеленой целлюлозы. Ее масса — от  $80$  до  $160 \text{ г/м}^2$ . Удельное сопротивление раз-

рыва составляет не менее 8 кН/м, сопротивление торцевому сжатию — не менее 1,15 кН/м, сопротивление плоскостному сжатию — не менее 280 Н, а абсолютное сопротивление продавливанию — не менее 320 кПа. Бумага данной марки с массой 80 г/м<sup>2</sup> используется для изготовления микрогофра.

Бумага для гофрирования марки Б-3 имеет массу до 160 г/м<sup>2</sup>. Ее удельное сопротивление разрыва составляет не менее 9 кН/м, сопротивление торцевому сжатию — не менее 1,35 кН/м, сопротивление плоскостному сжатию — не менее 330 Н, а абсолютное сопротивление продавливанию — не менее 340 кПа. Производится данная бумага из ненормированных материалов волокнистого типа. Существуют показатели, одинаковые для всех марок гофробумаги, — влажность (от 6 до 9%) и поверхностная впитываемость по отношению к воде (от 30 до 70 г/м<sup>2</sup>).

Гофробумага отличается повышенной жесткостью и относительно низким показателем впитываемости клея. Производится она из 25–35% сульфатной небеленой целлюлозы либо из 75-65-процентной полуцеллюлозы (флутинг). Бумага для гофрирования должна изготавливаться в рулонах, безо всяких складок, морщин, разрывов и задигов. Намотка должна быть плотной и равномерной по всей ширине рулона, а цвет бумаги должен соответствовать цвету натурального волокна. Допускаются небольшие внутрирулонные дефекты, но только тогда, если их общий показатель составляет не более 2%, предусмотренных ГОСТом. В одном рулоне может быть не более трех обрывов, а если рулон предназначен для экспорта — не более одного.

Бумага для гофрирования играет ключевую роль в процессе производства гофрокартона и тары из него. Гофр берет на себя большую часть нагрузки, от его технических параметров зависят амортизационные характеристики упаковки из гофрокартона и самого материала. В качестве сырьевого материала для бумаги может быть использована и макулатура. Изготовленные из нее изделия называются Wellenstoff (Веленштофф). Волокна рекуперационного типа подвергаются тщательной трехступенчатой переработке, но даже, несмотря на это, в составе веленштоффа все равно содержится небольшой процент первичного волокна, за счет чего и обеспечивается жесткость. Флутинг получают путем поверхностной химической обработки хвойной древесины.

Самый низкий сорт бумаги для гофрирования, имеющий наихудшие технические характеристики, — Schrenz (Шренц). Он используется в производстве внутреннего слоя гофрокартона, поэтому предъявляемые к шренцу требования не столь высоки. Его поверхность весьма грубая на ощупь, а внешний вид — менее эстетичен.

Бумага для гофрирования является одним из основных компонентов для производства гофрокартона и изготовления гофротары, поэтому к ее физико-механическим характеристикам предъявляют достаточно высокие требования по качеству и сопротивлению нагрузкам (как статическим, так и динамическим) при штабелировании, складировании и хранении.

Картон для плоских слоев гофрированного картона — лайнер (от англ. liner — прямой, ровный, гладкий). По классификации (FEFCO) лайнеры подразделяются на крафт- и тест-лайнеры. Выделяются лайнеры естественного «коричневого» цвета (brown) с использованием в композиции только первичных полуфабрикатов — сульфатной небеленой целлюлозы и полуцеллюлозы (kraftliner) либо с использованием вторичного макулатурного сырья (recycled или testliner). Причем в последнем случае применяют преимущественно макулатуру из отработанной картонной тары, имеющую собственное условное обозначение — OCC (old corrugated containers).

Крафт-лайнер (от нем. kraft — сила) — это картон, состоящий не менее чем на 80% из волокон лиственной целлюлозы. Оставшиеся 20% — любая смесь из первичных волокон (целлюлозы разных способов варки, полуцеллюлозы, древесной массы, макулатуры, соломы, тростника, льна, конопли и т. д.). Т. е. композиция картона многокомпонентна, однако, чтобы называться крафт-лайнером, процент вторичных волокон в нем должен быть минимальным. В международной практике крафт-лайнер, на 100% состоящий из крафт-целлюлозы (полученной сульфатным способом), также называют топ-лайнером. Это многослойный материал, количество слоев колеблется от двух до восьми, в зависимости от возможностей картоноделательной машины. Чаще всего производят двухслойный крафт-лайнер — базовый коричневый слой состоит из вторичного волокна, а наружный, в основном, — из длинноволокнистых первичных волокон. Крафт-лайнер, как правило, используют для производства изделий и тары с повышенными требованиями к механическим показателям.

Покровный слой крафт-лайнера может иметь пестрый «мраморный» вид (mottled top liner), который достигается за счет применения беленой целлюлозы и уменьшения массы 1 м<sup>2</sup> наружного слоя до 40 г и ниже. При этом формирование покровного слоя осуществляется из массы более высокой концентрации, что вызывает определенную флокуляцию волокон. В итоге достигается эффект «пестрой окраски». Также производят крафт-лайнер с белым покровным слоем (white top liner). В качестве полуфабриката для него применяются беленая хвойная или лиственная целлюлозы либо их смесь.

Тест-лайнер также многослойный материал. Он изготавливается, в основном, из тех же компонентов, что и крафт-лайнер, но в другом соотношении. Обычно наружный слой подвергают специальной обработке: поверхностной проклейке, кашированию; всевозможные добавки придают тест-лайнеру специальные водоотталкивающие, морозостойкие, антикоррозионные и другие свойства.

Картон для плоских слоев (лайнеры) должны отвечать требованиям ГОСТ 7420-89, где марка картона К-1 — высшей, К-2 и К-3 — первой категории качества.

Международная практика подразделяет лайнер на:

- 1) К (kraft) — лайнер, состоящий из целлюлозных волокон;
- 2) Т2 (test 2) — лайнер из частично переработанных волокон;
- 3) Т (test 3) — лайнер, волокнистая композиция которого полностью состоит из вторичных волокон;
- 4) С (chip) — лайнер на основе макулатуры;
- 5) ВВ (fully bleached white) — крафт-лайнер из беленой целлюлозы;
- 6) ВТ (white top) — лайнер из вторичных волокон с верхним мелованным слоем;
- 7) МК (mottled kraft) — крафт-лайнер белого цвета с вкраплениями;
- 8) ОУ (oyster) — крапчатый тест-лайнер.

Для лайнеров нормируемыми являются показатели: сопротивление продавливанию, торцовому сжатию, излому в поперечном направлении.

Лайнеры, как наружные слои гофрокартона, способствуют сохранению его формы. Именно от качества лайнера в значительной степени зависят свойства гофрированного картона, в том числе — нагружаемость его в условиях эксплуатации и внешний вид упаковок из него. Наилучшие тары получаются при использовании специально разработанного для этой цели сорта крафт-лайнера, состоящего из двух слоев, как правило, чистой сульфатной целлюлозы или из сортированной вторичной сульфатной массы. Также по количеству слоев картон для плоских слоев гофрокартона можно разделить на однослойный и двухслойный.

## **5.2. Практическая часть**

### **5.2.1. Определение влажности бумаги для гофрирования и картона для плоских слоев гофрированного картона**

Бумагу или картон высушивают в сушильном шкафу при температуре 100–105°С до постоянной массы. Для этого около 5 г нарезанной из различных мест испытуемого образца бумаги или картона по-

мешают во взвешенный на аналитических весах металлический бюкс, рассчитывают и высушивают до постоянной массы. Время измерения составляет 20 мин. Влажность бумаги или картона рассчитывают по формуле 2.

#### **5.2.2. Определение массы 1 м<sup>2</sup> бумаги для гофрирования и картона для плоских слоев гофрированного картона**

Испытанию подвергают не менее трех образцов размером 100×100 мм, вырезанных по одному из каждого листа и выдержанных в стандартных условиях. После измерения их взвешивают и определяют среднее математическое значение массы одного листа. Массу 1 м<sup>2</sup> вычисляют по формуле 3.

#### **5.2.3. Определение толщины и плотности бумаги для гофрирования и картона для плоских слоев гофрированного картона**

Толщина бумаги измеряется при воздействии на площадь испытуемого образца, равную 2 см<sup>2</sup>, давлением, создаваемым измерительным прибором в 0,1 МПа. Единицей измерения является микрон или миллиметр.

В качестве измерительных приборов используют различные модификации толщиномеров или микрометров. Стационарный толщиномер состоит из корпуса, в который вмонтирован датчик чувствительностью  $\pm 1$  мкм. В соответствии с ГОСТ 27015-86 (ISO 438, 534) измерительная пята перемещается со скоростью 6 мм/с к плоской стационарной пластине, на которой размещают образец исследуемой бумаги или картона. Значение толщины материала фиксируется в момент, когда измерительная пята создает давление на образец, соответствующее 100 кПа. Полученное значение толщины материала считывается с цифрового табло прибора.

Плотность бумаги или картона вычисляют по формуле 6.

#### **5.2.4. Определение сопротивления бумаги и картона разрыву**

Сопротивление разрыву измеряется на универсальной разрывной машине (динамометре). Испытанию подвергают не менее трех полосок бумаги и картона в машинном направлении и трех — в попереч-

ном. Для опыта образцов устанавливают расстояние между зажимами 180 мм. Длина полосок, с учетом припуска на закрепление в зажимах, должна превышать расстояние между ними на 220–230 мм, ширина полосок во всех случаях —  $15 \pm 0,15$  мм. Скорость перемещения составляет 150 м/мин.

Испытания проводят в следующей последовательности:

- 1) устанавливают необходимое расстояние между зажимами и скорость перемещения подвижной траверсы;
- 2) закрепляют образец в зажимах в слегка натянутом состоянии, наблюдая, чтобы не было его перекоса;
- 3) обнуляют показания силоизмерительного датчика;
- 4) дают команду на нагружение испытуемого образца. В момент разрыва образца верхний подвижной зажим автоматически останавливается и фиксируется значение нагрузки в момент разрушения материала.

Результаты испытаний записывают в табл. 5, и рассчитывают средние значения разрывного усилия и удлинения в машинном и поперечном направлениях и их среднее.

#### **5.2.5. Определение сопротивления продавливанию бумаги и картона**

Анализ производится на приборах ЕС 35 и ЕС 36 для бумаги и картона соответственно, которые предназначены для определения сопротивления образцов из листовых материалов продавливанию при плавно нарастающем гидравлическом давлении. Избыточная сила воздействует через диафрагму из эластичного материала на образец, зажатый по кольцу при помощи пневматического прижимного устройства. Она вызывает выпучивание диафрагмы и, как следствие, деформацию закреплённого поверх неё образца.

Сопротивление продавливанию определяется как максимальное значение избыточного давления, воздействующего на образец до его разрушения (продавливания). Данный процесс определяется объемной скоростью прокачивания гидравлической жидкости в нагнетательном насосе Speed, значение которой задаётся в мл/мин в диапазоне от 50 до 190.

Регистрация момента разрушения образца определяется совокупностью параметров, зависящих от критериев процесса продавливания и от типа испытуемого материала. Эти характеристики показаны ниже на графике (рис. 9).

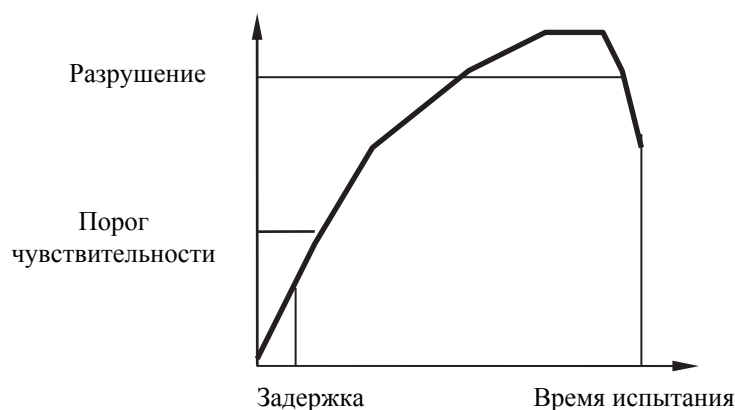


Рис. 9. Момент разрушения образца

Процедура определения момента разрушения образца активируется только после того, как достигнут порог чувствительности по давлению Edge и прошло определённое время задержки Delay (от 0 до 1000 мс) с момента начала испытания. Ввод этих установок предотвращает получение ошибочных результатов в начале опыта до установки контакта между диафрагмой и образцом. Момент разрушения Burst определяется в виде процентной составляющей от максимального значения давления, измеренного в течение текущего испытания. При снижении давления до этого значения после максимума образец считается разрушенным.

Параметр  $P_{\max}$  используется для включения в отчет о результатах испытания измеренных значений максимального давления (в кПа, МПа, барах, кН/м или psi) и стрелы выпучивания диафрагмы (в мм или дюймах). Единицы измерения  $P_{\max}$  вводятся путем установки курсора в соответствующее поле окна TEST. По окончании опыта максимальное измеренное значение гидравлического давления сохраняется в соответствующем поле дисплея.

Индекс продавливания рассчитывается по формуле

$$I = \frac{P}{M}, \quad (11)$$

где  $P$  — максимальное измеренное давление, кПа;  $M$  — масса  $1 \text{ м}^2$ .

В процессе анализа фиксируем следующие характеристики, которые должны быть занесены в итоговую табл. 5:

- 1) сопротивление продавливанию ( $P_{\max}$ );
- 2) значение стрелы прогиба диафрагмы;



- 3) сопротивление продавливанию без учета сопротивления диафрагмы ( $P_{\text{cor}}$ );
- 4) индекс продавливания.

#### **5.2.6. Определение сопротивления торцевому сжатию бумаги для гофрирования ССТ**

Метод основан на определении усилия при сжатии, направленного перпендикулярно к более длинному краю образца бумаги и необходимого для его разрушения. Из листа для гофрирования в машинном направлении при помощи гильотинного ножа или вырубного пресса вырезают образец шириной  $15,0 \pm 0,1$  мм и длиной  $152,0 \pm 0,5$  мм. Материал гофрируют на лабораторном гофрообразователе. При этом он пропускается между двумя нагретыми до  $177 \pm 5^\circ\text{C}$  зубчатыми колесами, которые вращаются с установленной скоростью и прижимаются друг к другу с силой  $118 \pm 10$  Н.

Полученный таким образом гофрированный образец вставляют между зубчатыми рейками держателя ССТ. Держатель с образцом помещают в центр нижней плиты универсального пресса и запускают процесс измерения.

При разрушении материала фиксируют показатель сопротивления торцевому сжатию в кН/м.

#### **5.2.7. Определение сопротивления при сжатии кольца бумаги для гофрирования RCT и картона для плоских слоев гофрированного картона**

Сущность метода заключается в определении разрушающего усилия при осевом сжатии установленной на ребро и свернутой в кольцо полоски бумаги или картона.

Из листа для гофрирования, в машинном и поперечном направлениях при помощи гильотинного ножа или вырубного пресса вырезают образец шириной  $15,0 \pm 0,1$  мм и длиной  $150,0 \pm 0,5$  мм. На штифт держателя образца RCT насаживают диск, диаметр которого соответствует толщине образца бумаги (картона). Лист вводят через вспомогательную в кольцевую канавку держателя. Его с образцом помещают в центр нижней плиты универсального пресса и запускают процесс измерения.

При разрушении материала фиксируют показатель сопротивления при сжатии кольца в Н.

Таблица 5

**Результаты анализа бумаги для гофрирования и картона  
для плоских слоев гофрированного картона**

Параметр	Единица измерения	Материал	
		бумага	картон
Влажность	%		
Масса 1 м <sup>2</sup>	г		
Толщина	мм		
Плотность	г/м <sup>3</sup>		
Разрушающее усилие в сухом состоянии	Н		
Сопротивление продавливанию	кПа		
Значение стрелы прогиба диафрагмы	мм		
Сопротивление продавливанию без учета сопротивления диафрагмы	кПа		
Индекс продавливания			
Сопротивление торцевому сжатию бумаги	кН/м		
Сопротивление при сжатии кольца	Н		

## **Лабораторная работа № 6**

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ГОФРИРОВАННОГО КАРТОНА И ТАРЫ НА ЕГО ОСНОВЕ**

Цель работы: изучить методики определения показателей качества бумаги для гофрирования и картона для плоских слоев гофрированного картона.

Оборудование, материалы и химикаты: аналитические весы, секундомер, микрометр, резак, прибор определения сопротивления продавливанию ЕС 36, пресс для испытания компонентов гофрокартона К440, ножи для подготовки образцов, эксикатор, сушильный шкаф.

#### **6.1. Теоретическая часть**

Для производства всех видов гофрокартона применяют клеящие составы, основной составляющей которых является крахмал. Обязательными компонентами являются сам крахмал, вода, каустическая сода и бура.

У крахмального клея есть свои недостатки — он не выдерживает большой влажности и теряет прочность. Для увеличения влагостойкости в клей для гофрокартона добавляют различные полимерные материалы. Эти добавки также позволяют повысить скорость досыхания клея после склейки, что позволяет сократить время работы технологического оборудования на этом этапе производства.

Преимущества крахмального клея:

- 1) большая прочность склеивания;
- 2) меньшая чувствительность к влажности склеиваемых материалов;
- 3) экологичность и возможность повторного использования гофрокартона в качестве макулатуры;
- 4) дешевизна;
- 5) простота приготовления.

Гораздо реже используется силикатный клей (жидкое стекло), который должен изготавливаться только из содового силикатного натрия. Он дает необходимую жесткость производимому картону. Для улучшения качества силикатного клея применяют различные добавки (каолин, крахмал и казеин). Чаще всего его применяют для изготовления пятислойного и семислойного гофрокартона. Гофротара из этого упаковочного материала служит для транспортировки тяжелых грузов. И такие грузы, как правило, — это промышленные товары. Изготовление упаковки для пищевых продуктов категорически исключает применение силикатного клея.

В настоящее время для склеивания гофрокартона используется в основном клей на основе крахмала. Гофрокартон — наиболее часто используемый в промышленности упаковочный материал, отличающийся малым весом, стоимостью, но высокими физическими параметрами. Является одним из наиболее распространенных основ в мире для использования в качестве упаковки. Особенностью производства гофрокартона является возможность использовать бумагу и картон, полученные из макулатуры, что позитивно с точки зрения экономии ресурсов и защиты окружающей среды.

Гофрокартон состоит, как правило, из трех слоев: двух плоских — картона (топ-лайнеры) и одного — бумаги между ними, имеющего волнообразную (гофрированную) форму (флутинг). Такая композиция слоёв делает гофрокартон, несмотря на характеристики его компонентов, особенно жестким, обладающим сопротивлением как в направлении, перпендикулярном плоскости картона, так и вдоль плоскостей. Для дальнейшего улучшения физических свойств упаковки из гофрокартона применяются пяти- и семислойный гофрокартон — материал, при котором слои картона и бумаги чередуются один за другим. Размеры, качество и прочие параметры тары из гофрокартона устанавливаются отраслевыми стандартами, накладывающими также свои требования к процессу производства.

Перед началом производственного процесса рулоны бумаги для гофрирования и картона для плоских слоев должны в течение суток находиться в помещении с температурой воздуха не ниже 15°C, где происходит процесс их кондиционирования. Затем рулоны закрепляются на размоточном станке (раскате), после чего бумага и картон поступают на специальные разогревающие цилиндры и промежуточные валики, где происходит их увлажнение и равномерный нагрев. Это способствует более глубокому проникновению клея в толщину бумаги и лучшему склеиванию с картоном.

Лист для гофрирования поступает в гофрировальную машину (гофрирующий пресс). Он проходит между нагретых до 150–180°C зубчатых гофрирующих валов, в результате образуется волнистый слой заданного профиля. Размеры гофров зависят от конфигурации зубьев валов. Затем гофрированная бумага поступает в клеенаносящую машину. При помощи клеевого вала на вершины гофров одной из сторон наносится клеевая пленка (количество регулируется изменением положения дозирующего вала). Гофрированный слой совмещается с плоским картоном, который под действием прижимного вала плотно приклеивается к вершинам гофров. Так завершается процесс производства двухслойного гофрокартона.

Получившийся материал по наклонной транспортерной ленте подается на накопительный мост, а затем в клеильную машину, где происходит нанесение клея на свободную сторону гофрированной бумаги.

Далее гофрированный картон подается в сушильное устройство, где происходит его склеивание и сушка. Последнее осуществляется при помощи сушильных плит и машины. Нагрев может производиться при помощи пара или электричества.

В процессе сушки из слоев гофрокартона удаляется лишняя влага, происходит окончательное затвердевание клея. Далее материал поступает на охлаждающую часть линии. Процесс сушки с последующим охлаждением во многом определяет качество получившегося гофрокартона.

После этого лист подается в секцию продольно-поперечной резки, где он раскраивается и разрезается при помощи системы дисковых ножей. Процесс резки часто сочетается с рилеванием или уплотнением гофрокартона на прямолинейном участке определенной ширины. В результате образуются линии рилевки, вдоль которых осуществляется перегиб листов гофрокартона. Рилевание производится при помощи так называемых рилевочных муфт. Затем гофрокартон нарезается на листы необходимой длины, из которых в дальнейшем изготавливается тара.

Гофрированный картон изготавливается классов и марок, указанных в табл. 6.

Таблица 6

**Марки гофрированного картона**

Тип	Класс	Марка
Д	—	Д
Т	1	Т 11, Т 12, Т 13, Т 14, Т 15
	2	Т 21, Т 22, Т 23, Т 24, Т 25, Т 26, Т 27
П	3	П 31, П 32, П 33, П 34, П 35, П 36, П 37

Гофрокартон делится на классы, маркируемые буквой, обозначающей количество слоев, и номером класса в зависимости от своих физических свойств и строения.

Гофрокартон различают по виду профиля — геометрическим размерам внутренних волн, определяющим геометрические и физические характеристики листа. Диапазоны размеров высоты и ширины волн группируют по классам, обозначаемым латинскими буквами А, В, С и т. д. (табл. 7).

**Характеристика гофра**

Тип	Наименование	Высота гофра, $h$ , мм	Шаг гофра, $t$ , мм
А	Крупный	4,4–5,5	8,0–9,5
С	Средний	3,2–4,4	6,5–8,0
В	Мелкий	2,2–3,2	4,5–6,4
Е	Микро	1,1–1,6	4,5–6,4

Класс «Д» — двухслойный гофрокартон, «двухслойка», состоит из одного плоского и одного гофрированного слоев (рис. 10.1). Этот вид гибкий, сматывается в рулон, хотя может быть изготовлен и в листах.

Класс «Т» — картон трехслойный (рис. 10.2). Склеен так, чтобы гофрированный слой находился между ровными. Используется чаще всего для изготовления коробок и коробов среднего размера. Этот картон очень жесткий и выпускается только в виде листов. Коробки, сделанные из такого картона, — идеальный вариант для упаковки вещей при переезде, именно он чаще всего используются.

Класс «П» — картон из пяти слоев (рис. 10.3). Сделан так, чтобы слои чередовались: ровный — волнистый — ровный — волнистый — ровный. Применяется для изготовления крупных коробок и листов. Таким картоном надежнее всего можно защитить при переезде крупную мебель. Коробки из такого картона для упаковки имущества целесообразно использовать только если переезд дальний.

Класс «С» — гофрокартон, состоящий из семи слоев (рис. 10.4). Принцип изготовления тот же, что и у пятислойного. Выпускается тоже исключительно в листах. Используется там, где есть повышенные требования к прочности коробок и даже ящиков, например, для международных перевозок.

Микрогофрокартон представляет собой трехслойный гофрированный материал толщиной от 1,5 до 1,8 мм, который различается по качеству плоских слоев (бурый, белый, мелованный).

В отличие от гофрокартона, микрогофрокартон обладает меньшей прочностью и может применяться для изготовления более легких конструкций. Как правило, из него изготавливается индивидуальная упаковка широкого спектра товаров (в основном косметической и фармацевтической промышленности).

Благодаря эстетичному виду, небольшому весу и высокой прочности в настоящее время данный вид вытесняет из этой сферы обычный картон.

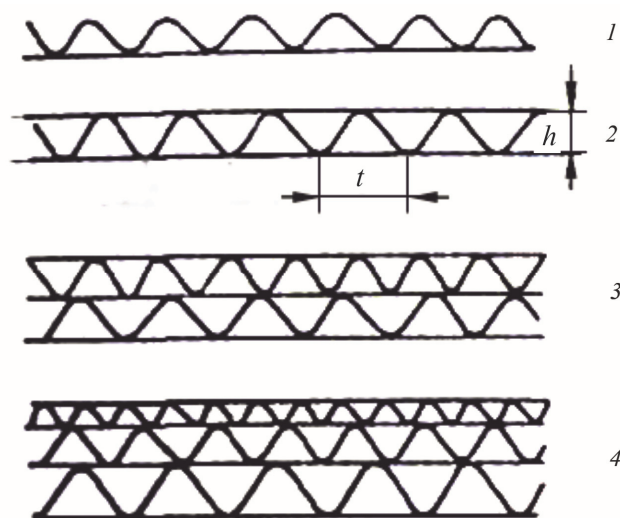


Рис. 10. Виды гофрированного картона:  
 1 — двухслойный; 2 — трехслойный;  
 3 — пятислойный; 4 — семислойный;  
 $h$  — высота гофра;  $t$  — шаг гофра

## 6.2. Практическая часть

### 6.2.1. Определение влажности гофрированного картона

Картон высушивают в сушильном шкафу при температуре 100–105°C до постоянной массы. Для этого нарезают листовой картон на квадраты площадью 250×250 мм, предварительно взвешивают на аналитических весах и помещают в рабочую зону скоростной сушилки. Время сушки составляет 20 мин, по истечении которых образец повторно взвешивают. Влажность картона рассчитывают по формуле 2.

### 6.2.2. Определение толщины гофрированного картона

Толщина гофрированного картона измеряется при воздействии на площадь испытуемого образца, равную 10 см<sup>2</sup>, давлением, создаваемым измерительным прибором в 0,1 МПа. Единицей измерения является микрон или миллиметр.

В качестве измерительных приборов используют различные модификации толщиномеров или микрометров. Значение толщины материала фиксируется в момент, когда измерительная пята создает давление на образец, соответствующее 100 кПа. Полученное значение толщины материала считывается с цифрового табло прибора.

### **6.2.3. Определение сопротивления продавливанию гофрированного картона**

Анализ производится на приборе ЕС 36, особенностью которого является диапазон избыточного давления от 100 до 6000 кПа. Принцип работы устройства, подготовка образцов и процесс измерения идентичны прибору ЕС 35 и описаны в разделе 5.2.5. В процессе анализа гофрированного картона снимаются следующие характеристики, которые должны быть занесены в итоговую табл. 8:

- 1) сопротивление продавливанию ( $P_{\max}$ );
- 2) значение стрелы прогиба диафрагмы;
- 3) сопротивление продавливанию без учета сопротивления диафрагмы ( $P_{\text{cor}}$ );
- 4) индекс продавливания.

### **6.2.4. Определение сопротивления плоскостному сжатию гофрированного картона FCT**

Сопротивление плоскостному сжатию определяется для двух- и трехслойного гофрированного картона. Сущность метода заключается в определении усилия, направленного вертикально к плоскости образца, при сжатии.

Из листа гофрированного картона при помощи циркулярного ножа FCT вырезают образец, площадью 32 см<sup>2</sup>. При этом необходимо следить, чтобы его кромки были ровными и без повреждений. Полученный образец помещают на нижнюю плиту универсального пресса, на котором предварительно размещена шлифовальная бумажная лента, расположенная абразивной стороной вверх. При испытании двухслойного картона лист кладут гофрированным слоем к абразиву. Далее запускают режим теста, при этом происходит нагружение образца до его разрушения (при раздавливании профиль гофров должен оставаться симметричным). Фиксируют полученное значение в кПа.

### **6.2.5. Определение сопротивления расслаиванию гофрокартона RAT**

Определение сопротивления расслаиванию производится для трех-, пяти- и семислойного гофрированного картона (за исключением микрогофрированного картона). Метод основан на определении усилия, необходимого для отрыва гофрированного слоя от плоского. Из



листа гофрированного картона при помощи пневматического ножа вырезают стандартный образец, который помещают между нижней и верхней частями гребенки РАТ, так, чтобы их зубья чередовались в соответствии с шагом гофра. Приспособление помещают на нижнюю плиту универсального пресса, и запускают измерение, выражая результат в кН/м.

Таблица 8

**Характеристика гофрированного картона**

Параметр	Единица измерения	Гофрированный картон	
		Профиль «С»	Профиль «Е»
Влажность	%		
Толщина	мм		
Разрушающее усилие в сухом состоянии	Н		
Сопротивление продавливанию	кПа		
Значение стрелы прогиба диафрагмы	мм		
Сопротивление продавливанию без учета сопротивления диафрагмы	кПа		
Индекс продавливания			
Сопротивление плоскостному сжатию	кПа		
Сопротивление расслаиванию	кН/м		

## Лабораторная работа № 7

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГАЗОПРОНИЦАЕМОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы: изучить методики определения показателей качества бумаги для гофрирования и картона для плоских слоев гофрированного картона.

Оборудование, материалы и химикаты: секундомер, резак, микрометр, прибор определения кислородопроницаемости OX-TRAN Модель 1/50, прибор определения паропроницаемости PERMATRAN-W Модель 1/50.

#### 7.1. Теоретическая часть

Под проницаемостью понимают перенос молекул через барьерный материал. Для объяснения механизма процесса проще всего воспользоваться единицами измерения проницаемости (система СИ):

$$\frac{\text{м}^3 (273.15 \text{ К}; 1.013 \times 10^5 \text{ Па}) \cdot \text{м}}{\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{Па}}, \quad (12)$$

$$\frac{(\text{объем газа при стандартных условиях}) \cdot (\text{толщина материала})}{(\text{площадь}) \cdot (\text{время}) \cdot (\text{перепад давления})}.$$

На практике проницаемость материала измеряется в единицах:

$$\frac{\text{см}^3 \cdot \text{мм}}{\text{м}^2 \cdot \text{сут} \cdot \text{атм}}.$$

Молекулярный поток через материал определяется законом Фика:

$$J = -D \cdot \frac{dC}{dX} = D \cdot \frac{C_1 - C_2}{x}, \quad (13)$$

где  $J$  — диффузионный поток;  $D$  — коэффициент диффузии;  $C$  — концентрация газа.

Перенос газа через непористые материалы осуществляется посредством различных видов диффузии и растворимости газа (Solution-Diffusion Mechanism). Он растворяется в пограничном слое листа со стороны более высокого давления, затем диффундирует через него и выделяется уже с другой стороны. В общем случае, проницаемость газа может быть представлена как произведение его растворимости  $S$  и коэффициента диффузии  $D$  по формуле  $P = S \cdot D$ .

В данном случае, под диффузией следует понимать процесс установления равновесия в системы в результате беспорядочного движения молекул. В системе, подчиняющейся закону Фика, коэффициент диффузии не зависит от концентрации газа. Единицы измерения  $D$  —  $\text{см}^2/\text{с}$ , т. е. площадь контакта газа/время. Растворимость газа связывает между собой его концентрации в материале с парциальными давлениями. Коэффициент растворимости зависит от концентраций газа или движущих сил. Единицы измерения коэффициента растворимости  $S$  —  $\text{см}^3/\text{см}^3 \cdot \text{атм}$ :

$$\frac{\text{объем газа при стандартных условиях}}{(\text{объем материала}) \cdot (\text{разница потенциальных давлений})}. \quad (14)$$

При условии, что растворимость пропорциональна давлению, массовая составляющая проникающего газа будет зависеть от градиента его концентрации в пленке, который в свою очередь пропорционален градиенту давления через мембрану.

Рассмотрим особенности измерения проницаемости на примере кислородопроницаемости. Измерительная ячейка представляет собой пространство, которое разделяется на два отсека барьерным материалом. Через «верхний» отсек при атмосферном давлении постоянно прокачивается кислород, через «нижний» — азот. В процессе измерения молекулы кислорода проникают через барьерный материал и захватываются потоком азота, который в последующем направляется к датчику кислорода, который и фиксирует содержание кислорода в потоке азота (рис. 11).

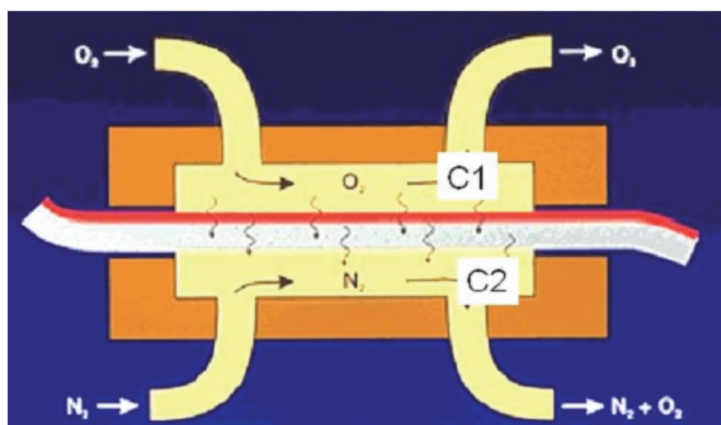


Рис. 11. Измерительная ячейка кислородопроницаемости

На начальном этапе, после очистки камеры азотом, значение концентрации кислорода  $C_2 = 0$ , соответственно:

$$J = D \cdot \frac{C_1 - 0}{x} = D \cdot \frac{C_1}{x}. \quad (15)$$

На практике — поверхностная концентрация газа  $C_1$ , как правило, неизвестна. Используя значение давления газа  $P_1$ , которое пропорционально концентрации  $C_1$ , ( $C = P \cdot S$ , где  $S$  — коэффициент растворимости), молекулярный поток газа через материал можно выразить формулой:

$$J = P \cdot \frac{Pr}{l}, \quad (16)$$

где  $Pr$  — проницаемость материала;  $l$  — толщина материала.

После преобразования получим:

$$P = J \cdot \frac{l}{Pr}; \quad (17)$$

$$\frac{\text{см}^3 \cdot \text{см}}{\text{см}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{атм}}.$$

На проницаемость материала оказывают влияние следующие факторы:

- 1) химическая структура полимера;
- 2) степень кристаллизации и пространственной ориентации цепных молекул;
- 3) восприимчивость цепных молекул к влаге и другим средам;
- 4) состояние поверхности полимера;
- 5) наличие в полимере модифицирующих добавок.

Химическая структура полимера в основном определяет барьерные свойства полимера, что видно из табл. 9.

Таблица 9

#### Химическая структура полимеров

Полимер	Структура	O <sub>2</sub> -проницаемость (cm <sup>3</sup> -mil/ 100in <sup>2</sup> -day-atm)	Примечание
Polyethylene	Этилен	480	Низкая полярность, слабые связи между цепочками
Polypropylene	Пропилен	150	Цепочки немного прочнее, но связи между ними слабые

Окончание табл. 9

Полимер	Структура	O <sub>2</sub> -проницаемость (cm <sup>3</sup> -mil/ 100in <sup>2</sup> -day-atm)	Примечание
Polymethylmetacrylate	Метиловый эфир акрило- вой кислоты	17	Цепочки намного прочнее вследствие пространственного расположения, устойчивые полярные связи между ними
Polyvinylchloride	Хлористый винил	8	Электроны хлора обеспечивают прочные связи между цепочками, их перемещение ограничено

В результате кристаллизации происходит уменьшение межмолекулярного пространства, вследствие чего улучшаются барьерные свойства. Пространственная ориентация молекул повышает их путем создания более извилистых путей для диффузионного потока (табл. 10).

Таблица 10

#### Характеристика PET различной степени кристаллизации

Морфология	O <sub>2</sub> -проницаемость (cm <sup>3</sup> -mil/ 100in <sup>2</sup> -day-atm)	Примечание
Кристаллизация 10 %	10,0	—
Кристаллизация 50 %	5,0	Высокая кристаллизация снижает проницаемость
Кристаллизация 50 %, ориентированный	3,0	Кристаллизация и ориентация создают более сложные пути для переноса молекул газа

При взаимодействии с некоторыми полимерами молекулы воды могут ослабить связи между цепочками и, тем самым, ухудшить барьерные свойства. Молекулы воды взаимодействуют только с полимерными группами, имеющими водородные связи между цепочками (углеводоро-

ды и амиды). Молекулы воды не будут оказывать влияния на барьерные свойства групп, не зависящих от водородных связей (эфир и цианиды). При больших размерах состояние поверхности может определять проницаемость полимера. Например, вследствие своей низкой полярности полиэтилен — очень плохой барьер в отношении неполярных субстанций, например жидких углеводородов. Однако, если поверхность полиэтилена обработать газообразным фтором, атомы фтора закрепятся в поверхностном слое, и благодаря своему объему и полярности, будут служить хорошей преградой жидким углеводородам.

В зависимости от своей природы, наличие модификаторов может улучшить или ухудшить барьерные свойства материала (табл. 11).

Таблица 11

**Кислородопроницаемость PVC в зависимости от состояния полимера**

Состояние	Чистый, твердый	Пластифицированный, мягкий
O <sub>2</sub> -проницаемость (cm <sup>3</sup> -mil/100in <sup>2</sup> -day-atm)	8	150

Паропроницаемость — один из наиболее важных параметров, принимаемых во внимание производителями и пользователями упаковки. Атмосферная влага может испортить сухие продукты в упаковке из полимерных и бумажных материалов, равно как и выйти наружу из тары с «влажными» продуктами. В результате высокой паропроницаемости материалов теряют свои свойства крекеры и чипсы, изменяется уровень pH внутри упаковки, уменьшается срок хранения мясных продуктов.

Скорость передачи (Transmission Rate, WVTR):

$$\frac{\Gamma}{\text{м}^2 \cdot \text{сут}}$$

Проницаемость (Permeance):

$$\frac{\Gamma}{\text{м}^2 \cdot \text{сут} \cdot \text{атм}}$$

Коэффициент проницаемости (Permeation coefficient):

$$\frac{\Gamma \cdot \text{мм}}{\text{м}^2 \cdot \text{сут} \cdot \text{атм}}$$

При измерении WVTR наиболее важным является создание условий проведения анализа, т. е. относительной влажности и температуры.

В период 1970–1980-х гг. относительная влажность при измерениях паропроницаемости создавалась при помощи солевых растворов. Результатом этого была коррозия приборов и зависимость конечного результата от действий оператора. С середины 1980-х гг. для создания необходимой влажности начал использоваться новый метод, именуемый Factoring. В нем испытания производились при 100% влажности, получаемой при помощи дистиллированной воды, а затем результат умножался на коэффициент для соответствующего значения влажности (factor). Метод давал хорошую корреляцию с результатами, полученными при использовании солевых растворов, при отсутствии коррозии приборов и зависимости результатов от действий оператора. К сожалению, данный способ давал хорошие результаты не для всех материалов.

Существует также другой метод увлажнения, именуемый Sparging (разбрызгивание). Он использовал сосуд с водой, через которую подавалась струя сухого азота. Проходя через воду, азот увлажнялся. Влажность струи азота на выходе зависела от различных факторов: скорости потока, чистоты воды, температуры испытания, водяного давления. Результаты, полученные при данном методе, также приходилось экстраполировать на требуемые значения влажности, аналогично методу factoring. С конца 1992 г. используется новый способ создания требуемой влажности, именуемый методом «G». Он позволяет оператору установить необходимую влажность путем изменения давления газа, проходящего через увлажнитель. Относительная влажность в камере контролируется отдельным датчиком.

Принцип работы измерительной ячейки на паропроницаемость приведен на рис. 12:

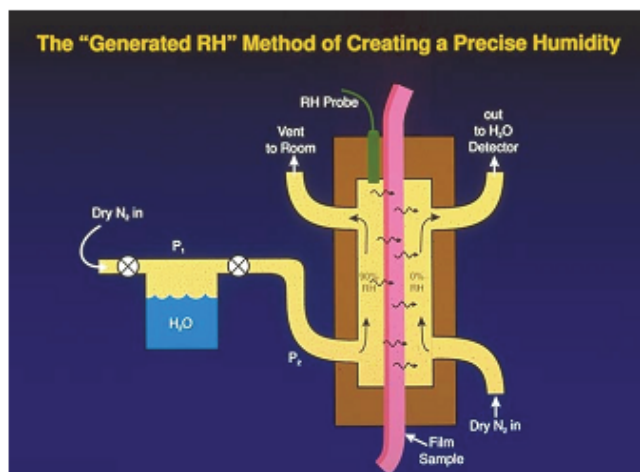


Рис. 12. Измерительная ячейка паропроницаемости

Образец зажимается в нее, затем внутрь для удаления остатков кислорода подается газ, не содержащий паров воды до тех пор, пока датчик не зафиксирует стабильный ноль.

В модулях версии G относительная влажность вне камеры создается методом двух давлений (без использования солей) и контролируется датчиком вне ячейки. В модулях версий W и A абсорбент насыщается дистиллированной водой для создания атмосферы 100% влажности. Молекулы воды, проникшие через пленку, поступают вместе с газом к датчику, который определяет его количество.

## **7.2. Практическая часть**

### **7.2.1. Определение толщины полимерных пленочных материалов**

Толщину полимерной пленки определяют при помощи стационарного микрометра аналогично методике измерения толщины бумаги и картона. Разница в измерении заключается в том, что при контроле толщины полимерных пленок используется микрометр, позволяющий создавать давление, эквивалентное 159 г на площадь контакта в 0,78 см<sup>2</sup>.

### **7.2.2. Определение кислородопроницаемости полимерной пленки**

Определение барьерных свойств полимерного материала по отношению к кислороду определяют при помощи прибора OX-TRAN Модель 1/50, предназначенного для анализа и измерения скорости проникновения кислорода через плоскобарьерный материал, такой, как мелованная бумага, пленки из полиэстера и другие полимерные материалы, используемые для гибкой упаковки.

Для подготовки образца необходимо:

- 1) вырезать образец по шаблону;
- 2) слегка смазать уплотнительные колесные диски смазкой. Если поверхность материала, размещающаяся у уплотнительной кромки не является гладкой (грубой, пористой или тисненной), возможно, потребуется применять дополнительные смазки. Их попадание на верхнюю часть ячейки может негативно влиять на результат испытания;
- 3) поместить образец в ячейку и придавите, чтобы удалить складки или морщины;
- 4) поместить ячейку в модуль (рис. 13).



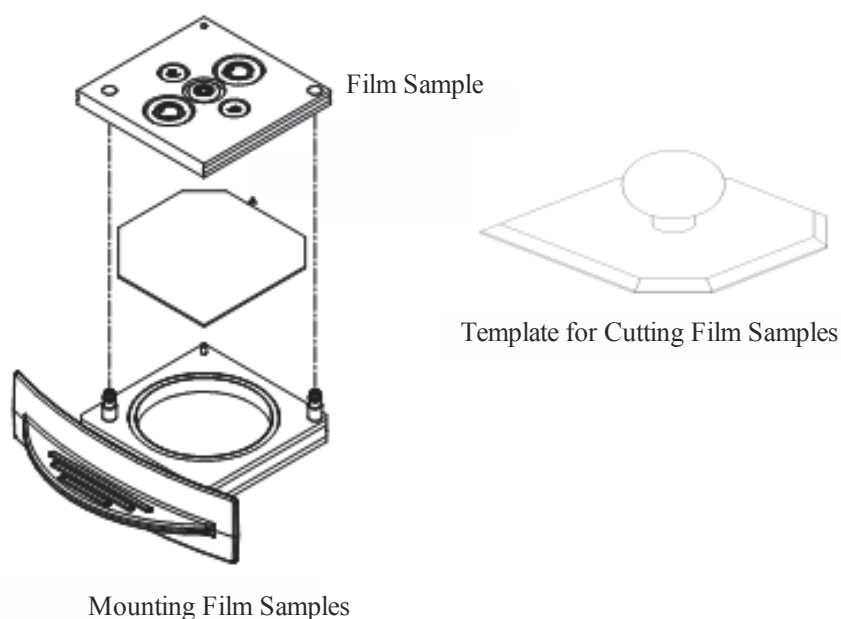


Рис. 13. Схема монтажа пленки

Для получения адекватных результатов необходимо точно установить параметры измерения. Способ определения указывает преподаватель. Для выбора нужного метода необходимо воспользоваться опцией прибора «методы», или изменить текущий метод с использованием меню Settings (настройки) — Parameter (параметры). Чтобы изменить текущий способ испытания, необходимо открыть Settings (настройки) — Parameter (параметры). Это меню содержит список из десяти свойств. Их значения этих параметров соответствуют установленному методу испытания (рис. 14).

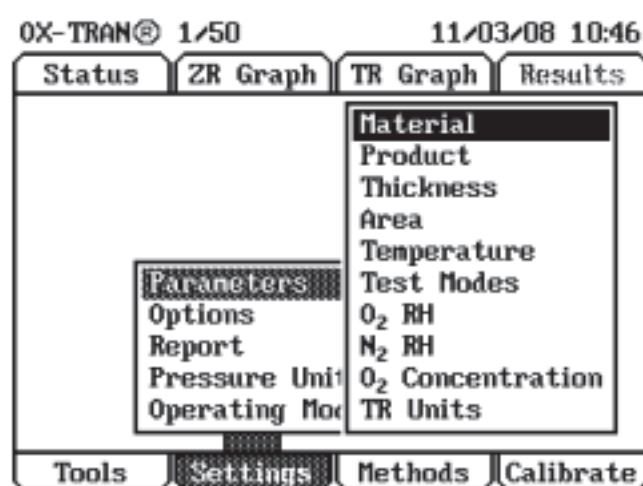


Рис.14. Изменение метода испытаний

Параметры процесса испытания:

1) **Материал.** Название вводится на усмотрение оператора, введенные обозначения не влияют на режим испытания или его результат, а информация может быть изменена при прохождении теста.

2) **Продукт.** Описание материала вводится на усмотрение оператора, введенные обозначения не влияют на режим испытания или его результат, а информация может быть изменена при прохождении теста.

3) **Толщина.** Используйте цифровые символы. Изменение единиц измерения производится кнопками со стрелкой вверх/вниз. Ограничения для параметра отображаются над полем ввода. Введенное число описывает толщину материала и не влияет на режим испытания или его результат.

4) **Площадь.** Используйте цифровые символы. Ограничения для этого параметра отображаются над полем ввода. Введенное число используется при расчете результата испытаний и не может быть изменено при прохождении теста.

5) **Температура.** Используйте цифровые символы. Ограничения для этого параметра отображаются над полем ввода. Введенное число используется для поддержания уровня температуры при проведении испытаний и не может быть изменено при прохождении теста.

6) **Относительная влажность  $O_2$ .** Используйте цифровые символы. Ограничения для этого параметра отображаются над полем ввода. Введенное число используется для поддержания уровня влажности при проведении испытаний и не может быть изменено при прохождении теста.

7) **Относительная влажность  $N_2$ .** Используйте цифровые символы. Ограничения для этого параметра отображаются над полем ввода. Введенное число используется для поддержания уровня влажности при проведении испытаний и не может быть изменено при прохождении теста.

8) **Режимы контроля.** Это подменю имеет 4 опции, используются для выбора тестового режима, который не может быть изменен, когда выполняется тест.

- Standard — при выборе этого режима ограничение по количеству циклов составляет 1–999;
- Convergence By Hours — по количеству часов составляет 1–99;
- Convergence By Cycle — по количеству циклов составляет 1–99;
- Continuous — непрерывный режим измерения.

9) **Время тестирования.** Используйте цифровые символы. Ограничения для этого параметра отображаются над полем ввода. Введенное число описывает длительность проведения теста и не может быть изменено при прохождении теста.

10) **Процедура «Zero» (Zeroing).** Установите: No Zeroing. Выбранный режим не может быть изменен во время выполнения испытания.

После установки заданных параметров нажмите кнопку Старт/Стоп. Ячейка загерметизируется и тест начнется. Текущее состояние измерительной ячейки и самого модуля можно посмотреть с использованием следующих окон: Status, ZR Graph, TR Graph и Results Tabs. Окно Статус (Status Tab) отображает общую информацию об измерительной ячейке и модуле. Окно ZR Graph Tab отображает график измерений текущего или последнего сохранённого нуля. Окно TR Graph Tab — окно реального времени, в котором отображается график измерений текущего испытания. Оно также содержит таблицу с промежуточными точками, используемыми для построения графика текущего испытания, а также текущий или сохранённый ноль.

Полученное окончательное значение кислородопроницаемости внести в итоговую табл. 13.

### **7.2.3. Определение паропроницаемости полимерной пленки**

Определение барьерных свойств полимерного материала по отношению к кислороду определяют при помощи прибора PERMATRAN-W Модель 1/50, который измеряет паропроницаемость барьерных материалов. Образец помещают в испытательную камеру и пневматически зажимают. Полость в верхней части испытательной камеры действует как накопительный отсек для водяного пара, проходящего через материал.

В самом начале испытания клапан автоматически открывается и в систему подается сухой азот, что позволяет очистить накопительный отсек. Этот процесс называется «цикл очистки». Клапаны остаются открытыми, пока относительная влажность (% RH) в камере не опустится до минимального значения. После его достижения, клапан закрывается и влажность внутри камеры увеличивается по мере проникновения водяного пара через образец. Этот процесс называют «циклом накопления». Относительная влажность в камере будет расти, пока не достигнет максимального значения. Цикл продувки и накопления будет повторяться, пока пользователь или программное обеспечение не решат, что наступило равновесное состояние.

Скорость прохождения паров воды рассчитывается на основе количества времени, необходимого для накопления относительной влажности от минимального до максимального значения. Это количество времени прямо пропорционально скорости передачи паров воды (табл. 12).

**Соотношение диапазонов паропроницаемости  
от анализируемой площади образца**

Площадь образца	Диапазон паропроницаемости
50 см <sup>2</sup>	От 0,1 до 100 г/м <sup>2</sup> /24ч
5 см <sup>2</sup>	От 1,0 до 1000 г/м <sup>2</sup> /24ч

На рис. 15 показан упрощенный вид ячейки для испытания при 100%-ой относительной влажности. Образец пленки устанавливают в испытательной камере, одна сторона его подвергается воздействию 100%-ой относительной влажности (полученной из насыщенной деионизированной водой губки). В процессе испытания с оборотной стороны пленки прокачивается азот. Количество водяного пара, проникающего через образец, контролируется датчиком и преобразуется в значение мощности передачи.

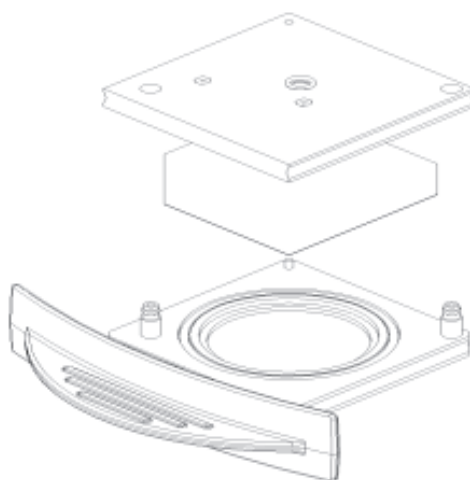


Рис. 15. Ячейка для испытания при 100%-ой относительной влажности

Для установки образца в испытательной камере необходимо:

- 1) вырезать образец по шаблону;
- 2) слегка смазать уплотнительные колесные диски смазкой. Если поверхность материала не является гладкой, необходимо провести дополнительную смазку. Попадание смазки на верхнюю часть ячейки может негативно влиять на результат испытания;
- 3) поместить образец в ячейку и придавите, чтобы удалить складки или морщины;
- 4) поместить ячейку в модуль;
- 5) выбрать нужный метод или установить текущие параметры;
- 6) начать тест.

Стандартные методы анализа выбирают при помощи опции Quick Start (Быстрый старт), представленной на рис. 16. Обычные клавиши прокрутки позволяют перемещать курсор по таблице и клавиша OK подтверждает выбор метода начала испытания. Кнопка ESC совершит возврат из этого меню без запуска теста. В случае необходимости индивидуальные параметры проведения теста программируют так же, как и при работе с OX-TRAN Модель 1/50 (рис. 16).

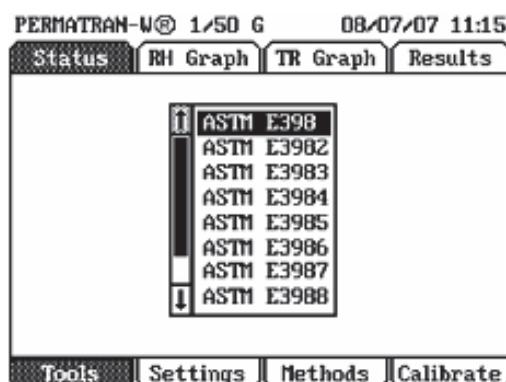


Рис. 16. Меню Quick Start (быстрый старт)

Контроль за ходом анализа можно производить при помощи:

1) Экран Status содержит основную информацию текущего теста. Все значения отображаются в реальном времени. Текущее состояние ячейки показано непосредственно под вкладкой Status. Схема, иллюстрирующая текущее положение клапана (открыт/закрыт), отображается ниже линии состояния клетки. На этом экране отображается время, затраченное на аккумулярование, продувку или кондиционирование в соответствии с текущим состоянием испытания. Если опыт не проводится, эти данные не отображаются (рис. 17).

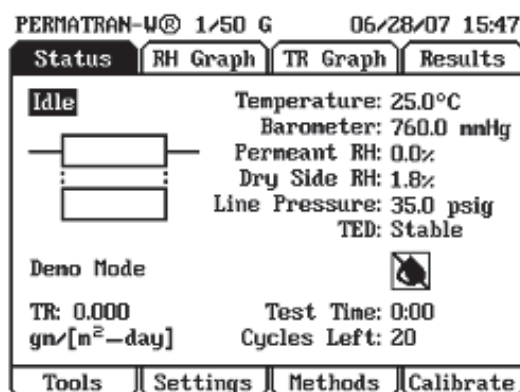


Рис. 17. Экран Status (текущее состояние)

2) RH и TR экраны показывают реальные изменения относительной влажности со стороны датчика. Эти данные используются для вычисления скорости передачи. График показывает, как минимум, последние 30 минут наблюдения или максимум трех циклов (рис. 18).

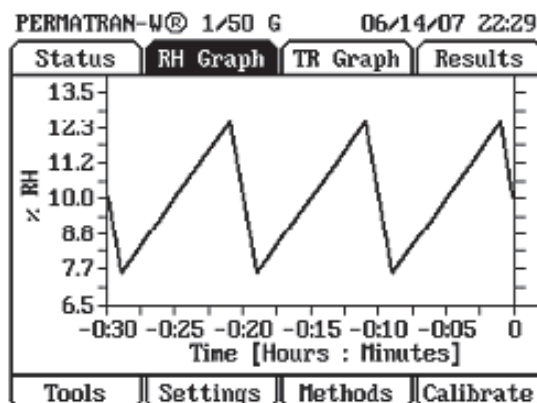


Рис. 18. RH Graph Screen (экран графика)

На графике (рис. 19) показана скорость передачи (газопроницаемость) текущего теста в режиме реального времени.

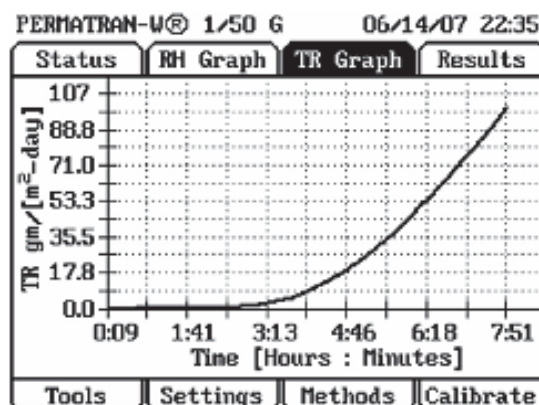


Рис. 19. Transmission Rate Graph Screen (экран графика газопроницаемости)

3) Results Screen показывает все параметры текущего теста вместе с таблицей данных, скорость передачи данных (газопроницаемость). Это единственный главный экран, который имеет функцию прокрутки. Для активации прокрутки нажмите кнопку ОК. На экране есть две разные таблицы. Нажатием на клавиши со стрелками «право/лево» можно активировать соответствующие части таблицы. Прокрутка вверх и вниз осуществляется с помощью кнопок Pg Up, Pg Dn, HOME и END. Нажатие клавиши ESC приведет к выходу из режима прокрутки (рис. 20).

PERMATRAN-U® 1/50 G 06/18/07 09:30

Status	RH Graph	TR Graph	Results	
Test Parameters		Time	TR	
Method: ASTM E398		1:19	0.0001	
Material: Mylar S456		1:29	0.0006	
Product: Product #1		1:39	0.0030	
Area: 50.0 cm <sup>2</sup>		1:49	0.0105	
Thickness: 25.4 mic		1:59	0.0295	
Test Mode: Standard		2:09	0.0707	
Duration: 20 Cycles		2:19	0.1489	
Temperature: 37.8°C		2:29	0.2830	
Permeant RH: 50.0%		2:39	0.4952	
Tools	Settings	Methods	Calibrate	

Рис. 20. Results Screen (окно результатов)

Полученное окончательное значение паропроницаемости необходимо внести в итоговую табл. 13.

Таблица 13

**Характеристика газопроницаемости полимерных пленок**

Наименование показателя	Единица измерения	Значение показателя
Наименование материала		
Толщина	мкм	
Кислородопроницаемость	мл/м <sup>2</sup> /24ч	
Паропроницаемость	г/м <sup>2</sup> /24ч	

## **Лабораторная работа № 8**

### **ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Цель работы: освоить методики идентификации основных полимерных материалов.

#### **8.1. Теоретическая часть**

В настоящее время полимерные материалы (ПМ) по объему производства занимают лидирующее положение среди сырьевых в упаковочном производстве.

Характерной особенностью полимеров является широкий спектр и разнообразие свойств, в частности, высокая химическая стойкость. Они не разлагаются (не подвергаются коррозии и гниению), влаго- и газонепроницаемы.

По объему производства полимерные материалы распределяются в следующем порядке:

- 1) полиолефины (полиэтилен (ПЭ), полипропилен (ПП));
- 2) поливинилхлорид (ПВХ) и его сополимеры;
- 3) полистирол (ПС) и его сополимеры (СПЛ);
- 4) фенопласты (в том числе фенолоформальдегидные смолы);
- 5) аминопласты (в том числе карбамидоформальдегидные смолы);
- 6) полиуретаны (в том числе пенополиуретаны);
- 7) полиэфиры сложные и ненасыщенные;
- 8) полиметилметакрилат и СПЛ акриловых эфиров;
- 9) пластмассы на основе эфиров целлюлозы;
- 10) прочие полимеры и олигомеры.

Пластмассы — это материалы, полученные на основе природных или синтетических полимеров, способные приобретать заданную форму при нагревании под давлением и устойчиво сохранять ее после охлаждения. Пластмассы, кроме полимера, также содержат и другие компоненты — наполнители, пластификаторы, стабилизаторы, пигменты и др.

В зависимости от характера превращений, происходящих с полимером при формовании изделий, пластмассы разделяют на группы:

- 1) термопласты — наиболее распространены на основе полиэтилена, полипропилена, поливинилхлорида, полистирола; после формования изделий сохраняют способность к повторной переработке; подавляющее количество отходов пластмасс, вовлекаемых в настоящее время в промышленную переработку, относится к группе термопластов;



2) реактопласты — наиболее распространены на основе фенолоформальдегидных, полиэфирных, эпоксидных и карбамидных смол; обычно содержат большую долю наполнителя — стекловолокна, сажи, мела и др.; их переработка в изделия сопровождается необратимой химической реакцией, приводящей к образованию неплавкого и нерастворимого материала (сшитые полимеры).

*Внешние признаки полиэтилена.* Прозрачный и бесцветный в тонком слое, матовый или белесый в толстом слое. Легче воды, поэтому всплывает на поверхность при погружении в воду. Гибкий в тонком, жесткий в толстом слое. Пленки из ПЭ не шуршат или очень слабо при сминании. На поверхности полиэтиленовых изделий от сильного давления остаются вмятины. Легко поддается царапанию острыми предметами. Безвреден, не имеет запаха и вкуса, не смачивается водой. При горении в пламени горелки имеет запах горящего парафина (свечи). Устойчив к действию воды, водяных паров, органических растворителей, минеральных кислот и щелочей. Растворяется преимущественно при нагревании в хлорированных (дихлорэтан, хлороформ) и в ароматических углеводородах (толуол, бензол). Медленно окисляется на воздухе.

*Внешние признаки полипропилена.* Прозрачный и бесцветный в тонком слое, матовый или белесый в толстом слое (как ПЭ). Легче воды, поэтому всплывает на поверхность при погружении в воду (как ПЭ). Гибкий в тонком (но менее, чем ПЭ), жесткий в толстом слое. Жесткость и твердость поверхности у ПП выше, чем у ПЭ. Пленки из ПП шуршат при сминании. На поверхности полипропиленовых изделий не остаются вмятины и выбоины от сильного давления (в отличие от ПЭ). Стоек к царапанию (в отличие от ПЭ). ПП имеет красивый внешний вид, блестящую поверхность, хорошо окрашивается в различные цвета. Безвреден, не имеет запаха и вкуса, не смачивается водой. При горении в пламени горелки, как и полиэтилен, имеет запах горящего парафина (свечи).

*Внешние признаки полиэтилентерефталата.* Кристаллический ПЭТФ — белое твердое и прочное вещество без запаха. Аморфный ПЭТФ — прозрачный бесцветный полимер. Тяжелее воды. При температуре выше 100°C полиэтилентерефталат гидролизуются (разрушается) растворами щелочей, а при 200°C — даже водой.

*Внешние признаки полистирола.* Это прозрачный бесцветный или слабоокрашенный полимер. «Стареет» на воздухе и из прозрачного материала превращается в матовый полупрозрачный. Тяжелее воды. Твердый, но хрупкий, т. е. не стойкий к ударным нагрузкам. При уда-

ре или щелчке издает звонкий треск. При сгибании полоски полистирола легко гнется, потом резко ломается с характерным треском. На изломе наблюдается мелкозернистая структура. Горит ярким, сильно коптящим пламенем (хлопья копоти тонкими паутинками взмывают вверх!), запах сладковатый, цветочный. Не смачивается водой. Сополимеры стирола — это, как правило, в большинстве случаев непрозрачные окрашенные материалы, более стойкие к удару.

*Внешние признаки поливинилацетата.* Это прозрачный, чаще всего бесцветный твердый или эластичный полимер. Немного тяжелее воды. Плохо удерживает приданную форму. Нетоксичен, не имеет запаха. Немного набухает в воде. При нагревании до невысокой температуры 26–28°C ПВА размягчается; при нагревании до 120°C необратимо растекается, а при нагревании до 170°C разлагается с выделением уксусной кислоты.

*Внешние признаки поливинилхлорида.* ПВХ тяжелее воды. Это трудногорючий полимер. При удалении из пламени самозатухает. При горении сильно коптит, по периметру горящего образца можно наблюдать зеленоватую кайму (свечение). Запах дыма очень резкий, острый. При сгорании образуется черное, углеподобное вещество, которое легко растирается между пальцами в сажу.

*Внешние признаки полиметилметакрилата.* Это прозрачный стекловидный твердый полимер. В процессе эксплуатации на воздухе мутнеет, «стареет». Легко подвергается царапанию. При ударе издает глухой звук (в отличие от полистирола). Это термопластичный, в основном аморфный полимер с плотностью 1170–1190 кг/м<sup>3</sup>. Оптически прозрачен, так как пропускает ~73,5% ультрафиолетовых лучей. Основное применение ПММА — производство оргстекла. Полимер хорошо совмещается с пластификаторами, имеет хорошую адгезию к другим полимерам. Растворяется в ацетоне, уксусной кислоте, хлоруглеводородах, толуоле и др. растворителях.

*Внешние признаки полиуретанов.* Внешний вид и их свойства изменяются и зависят от природы и длины участков цепи между уретановыми группировками, от структуры цепей (линейная или сетчатая), от молекулярной массы и др. Полиуретаны могут быть вязкими жидкостями или твердыми продуктами — от высокоэластичных мягких резин до жестких пластиков.

*Внешние признаки полиамидов.* Это твердые, рогоподобные вещества от белого до светло-кремового цвета. В ходе переработки и эксплуатации немного темнеют. В тонком слое прозрачные. При горении имеют запах жженого рога или горелых растений. Немного тяжелее воды.

*Внешние признаки поликарбонатов.* Это твердые прозрачные или имеющие голубоватую или желтоватую окраску вещества. Относятся к группе сомозатухающих полимеров. Тяжелее воды плотностью  $\sim 1200 \text{ кг/м}^3$ .


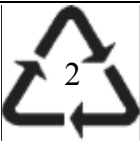
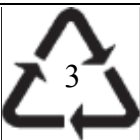
Проведение идентификации вида ПМ является неотъемлемым этапом решения технологических и экологических проблем, связанных с рециклингом полимерных отходов или многократным использованием полимерной упаковки для пищевых или иных видов продуктов.








Перед вторичной переработкой пластмассы должны быть разделены по типу полимерных материалов.

Для облегчения идентификации пластмасс по видам, во многих странах при производстве на пластмассовые изделия наносится маркировка и кодирование, обозначающие тип использованного сырья и возможные направления его использования. Код состоит из треугольника с номером и сокращенным названием полимера. Наиболее распространенные утилизируемые полимеры и их области применения приведены в табл. 14. Наиболее часто встречающиеся цифровые и буквенные обозначения (табл. 14) соответствуют наиболее распространенным ПМ: ПЭТ (1, PET), ПЭВП (2, HDPE), ПВХ (3, PVC), ПЭНП (4, LDPE), ПП (5, PP), ПС (6, PS).

Таблица 14

**Маркировка основных видов полимеров**

Символ	Полимер	Строение	Примечание
 ПЭТ	Полиэтилен-терефталат (ПЭТ)	$\left( \text{OC} - \text{C}_6\text{H}_4 - \text{COO}(\text{CH}_2)_2\text{O} \right)_n$	Бутылки, пленка, волокна
 ПЭВП	Полиэтилен высокой плотности (ПЭВП)	$\left( \text{H}_2\text{C} - \text{CH}_2 \right)_n$	Пакеты, бутылки, пленка, трубы
 ПВХ	Поливинил-хлорид (ПВХ)	$\left( \text{H}_2\text{C} - \underset{\text{Cl}}{\text{CH}_2} \right)_n$	Трубы, фитинги, листы, пленка, изоляция проводов

Символ	Полимер	Строение	Примечание
 ПЭНП	Полиэтилен низкой плот- ности (ПЭНП)	$\sim\sim\sim(H_2C-CH_2)\sim\sim\sim$	Пакеты, пленка
 ПП	Полипропилен (ПП)	$\sim\sim\sim(H_2C-\underset{\substack{  \\ CH_3}}{CH_2})\sim\sim\sim$	Упаковка пищевых продуктов, пленка, волокна, изделия технического назначения
 ПС	Полистирол (ПС)	$\sim\sim\sim(H_2C-\underset{\substack{  \\ \text{C}_6\text{H}_5}}{CH_2})\sim\sim\sim$	Пена, пленка, стек- ла, изделия техни- ческого назначения
 другие	Полиметилме- такрилат (ПММА)	$\sim\sim\sim(H_2C-\underset{\substack{  \\ O=C-OCH_3}}{CH_2})\sim\sim\sim$	Органическое стек- ло, изделия техни- ческого назначения
 другие	Поликарбонат (ПК)	$(-O-\text{C}_6\text{H}_4-\underset{\substack{  \\ CH_3}}{C}(\text{CH}_3)-\text{C}_6\text{H}_4-O-C(=O)-)$	Бутыли, упаковка, листы, оптика, из- делия технического назначения
 другие	Полиамид (ПА-6)	$\sim\sim\sim(NH(CH_2)_5CO)_\sim\sim\sim$	Ковровые покры- тия, волокна, изде- лия технического назначения
 другие	Сополимер акрилонитрила бутадиена и стирола (АБС-пластик)	$(-\underset{\substack{  \\ N\equiv C}}{C}-\underset{\substack{  \\ H}}{C}-CH_2-\underset{\substack{  \\ H}}{C}=\underset{\substack{  \\ H}}{C}-CH_2-CH_2-\underset{\substack{  \\ \text{C}_6\text{H}_5}}{C}-)$	Детали автомоби- лей, корпусные де- тали холодильни- ков, телевизоров и электронной ап- паратуры

При отсутствии маркировки можно воспользоваться простыми, но весьма точными методами идентификации. Чтобы отличить термопластичный материал от термореактивного, следует приложить к образцу раскаленный металлический предмет. Если при этом он плавится, то выполнен из термопластичного материала.

Если образец непористой пластмассы плавает на поверхности воды, в которую для снижения поверхностного натяжения добавлено несколько капель моющего средства, то наиболее вероятно, что этот образец из полиэтилена или полипропилена.

Для определения природы полимерного материала по готовому изделию или представленному образцу проводят качественный и количественный анализ материала и идентификацию с известными типами полимеров по следующей схеме:

- 1) внешний осмотр образца, анализ его фазового и физического состояния;
- 2) определение растворимости в различных растворителях;
- 3) анализ поведения образца в пламени;
- 4) пиролиз образца, идентификация продуктов пиролиза;
- 5) идентификация по цветным качественным реакциям полимеров;
- 6) определение химического состава отдельных классов полимеров с помощью качественных и количественных реакций.

Идентификацию полимеров и олигомеров проводят в 2 этапа:

- 1) первичное предварительное установление природы полимерного материала;
- 2) окончательное установление структуры полимеров или олигомеров методами качественного и количественного анализа.

Первичную оценку природы вещества проводят по схеме, включающей 8 стадий.

#### ***Первая стадия. Внешний осмотр материала***

Данная стадия заключается в определении простейших физико-химических свойств и регистрации показателей (величину) этих свойств. Оценку внешнего вида осуществляют по цвету, виду, агрегатному состоянию, запаху, прозрачности, твердости, эластичности, хрупкости.

Среди физико-химических показателей определяют плотность, коэффициент рефракции (преломления света).

Результаты внешнего осмотра сопоставляют с имеющимися литературными данными для известных полимеров и олигомеров (табл. 15) и делают предварительные выводы о природе полимера (табл. 16).

**Внешние органолептические признаки крупнотоннажных полимеров**

Полимер	Основные признаки
Полиэтилен	Прозрачный и бесцветный в тонком слое, матовый или белесый в толстом слое. Легче воды, поэтому всплывает на поверхность при погружении в воду. Гибкий в тонком, жесткий в толстом слое. Пленки из ПЭ не шуршат или очень слабо при сминании. На поверхности полиэтиленовых изделий от сильного давления остаются вмятины. Легко поддается царапанию острыми предметами. Безвреден, не имеет запаха и вкуса, не смачивается водой. При горении в пламени горелки имеет запах горящего парафина (свечи).
Полипропилен	Прозрачный и бесцветный в тонком слое, матовый или белесый в толстом слое (как ПЭ). Легче воды, поэтому всплывает на поверхность при погружении в воду (как ПЭ). Гибкий в тонком (но менее, чем ПЭ), жесткий в толстом слое. Жесткость и твердость поверхности у ПП выше, чем у ПЭ. Пленки из ПП шуршат при сминании. На поверхности полипропиленовых изделий не остаются вмятины и выбоины от сильного давления (в отличие от ПЭ). Стоек к царапанию (в отличие от ПЭ). ПП имеет красивый внешний вид, блестящую поверхность, хорошо окрашивается в различные цвета. Безвреден, не имеет запаха и вкуса, не смачивается водой. При горении в пламени горелки, как и полиэтилен, имеет запах горящего парафина (свечи).
Полистирол	Это прозрачный бесцветный или слабоокрашенный полимер. «Стареет» на воздухе и из прозрачного материала превращается в матовый полупрозрачный. Тяжелее воды. Твердый, но хрупкий, т. е. не стойкий к ударным нагрузкам. При ударе или щелчке издает звонкий треск. При сгибании полосы полистирола легко гнется, потом резко ломается с характерным треском. На изломе наблюдается мелкозернистая структура. Горит ярким, сильно коптящим пламенем (хлопья копоти тонкими паутинками взмывают вверх!), запах сладковатый, цветочный.
АБС-пластик	Сополимеры стирола — это, как правило, в большинстве случаев непрозрачные окрашенные материалы, более стойкие к удару.
Поливинилхлорид	ПВХ тяжелее воды. Это трудногорючий полимер. При удалении из пламени самозатухает. При горении сильно коптит, по периметру горящего образца можно наблюдать зеленоватую кайму (свечение). Запах дыма очень резкий, острый. При сгорании образуется черное, углеподобное вещество, которое легко растирается между пальцами в сажу.

Полимер	Основные признаки
Полиметилметакрилат	Это прозрачный стекловидный твердый полимер. В процессе эксплуатации на воздухе мутнеет, «старееет». Легко подвергается царапанию. При ударе издает глухой звук (в отличие от полистирола). Это термопластичный, в основном аморфный полимер с плотностью 1170–1190 кг/м <sup>3</sup> . Оптически прозрачен, так как пропускает ~73,5% ультрафиолетовых лучей. Основное применение ПММА — производство оргстекла. Растворяется в ацетоне, уксусной кислоте, хлоруглеводородах, толуоле и др. растворителях.
Полиэтилентерефталат	Кристаллический ПЭТФ — белое твердое и прочное вещество без запаха. Аморфный ПЭТФ — прозрачный бесцветный полимер. Тяжелее воды. При температуре выше 100°C полиэтилентерефталат гидролизует (разрушается) растворами щелочей, а при 200°C — и водой.
Полиамид	Это твердые, рогоподобные вещества от белого до светлоскремового цвета. В ходе переработки и эксплуатации немного темнеют. В тонком слое прозрачные. При горении имеют запах жженого рога или горелых растений. Немного тяжелее воды.
Полиуретан	Внешний вид и их свойства изменяются и зависят от природы и длины участков цепи между уретановыми группировками, от структуры цепей (линейная или сетчатая), от молекулярной массы и др. Полиуретаны могут быть вязкими жидкостями или твердыми продуктами — от высокоэластичных мягких резин до жестких пластиков.
Поликарбонат	Это твердые прозрачные или имеющие голубоватую или желтоватую окраску вещества. Относятся к группе сомозатухающих полимеров. Тяжелее воды плотностью ~1200кг/м <sup>3</sup> .

Таблица 16

**Внешние органолептические признаки пленок  
из различных полимерных материалов**

Полимер	Механические признаки	Поверхность на ощупь	Прозрачность	Блеск
ПЭТФ	Жесткая, слабо стойкая к раздиру	Сухая, гладкая, сильно «шуршащая»	Прозрачная	Средний
ПЭНП	Мягкая, эластичная, стойкая к раздиру	Маслянистая, гладкая		Матовый

Полимер	Механические признаки	Поверхность на ошупь	Прозрачность	Блеск
ПЭВП	Жестковатая, стойкая к раздиру	Гладкая, слабо «шуршащая»	Полупрозрачная	Матовый
ПП	Жестковатая, слегка эластичная, стойкая к раздиру	Сухая, гладкая	Прозрачная или полупрозрачная	Средний
ПВХ	Жестковатая, стойкая к раздиру		Прозрачная	
ПВДХ	Мягкая, стойкая к раздиру			
ПС (ориентированный)	Жесткая, стойкая к раздиру	Сухая, гладкая, сильно «шуршащая»		Высокий
ПА	Жесткая, слабо стойкая к раздиру	Сухая, гладкая	Полупрозрачная	Слабый
ПК	Жесткая, слабо стойкая к раздиру	Сухая, гладкая, сильно «шуршащая»	Высокопрозрачная	Высокий
АЦ	Жесткая, нестойкая к раздиру	Сухая, гладкая		

*Примечание.* Все пленки — бесцветные, за исключением ПЭТ (с голубоватым оттенком) и ПК (с желтоватым или голубоватым).

*Визуальный анализ образца.* Прежде всего, отмечают внешний вид образца, его физическое состояние, цвет, запах, прозрачность, твердость и эластичность. Цвет образца не является достоверной характеристикой принадлежности образца полимера к тому или иному классу, поскольку красители, пигменты и добавки могут изменить природную окраску полимера. Однако для фенопластов коричневый и черный цвета являются естественными. Черный цвет отличает и фурановые полимеры, и ПКМ на их основе.

Твердые полимерные образцы (без наполнителя) можно различить по разнице в плотности следующими дополнительными испытаниями. В один из двух стаканов вместимостью 100 мл наливают 70 мл дистиллированной воды, в другой — раствор тиосульфата натрия (70 г тиосульфата натрия в 60 мл воды). Образец размером не более



2×10×10 мм помещают вначале в стакан с водой. В зависимости от плотности образец либо погрузится на дно стакана, либо будет плавать на поверхности воды. Материалы, погрузившиеся на дно, извлекают из стакана с водой и помещают в емкость с раствором тиосульфата натрия. На этот раз на дно опускаются образцы, плотность которых больше 1100 кг/м<sup>3</sup>, остальные плавают на поверхности раствора.

Образцы, опустившиеся на дно емкости с раствором тиосульфата натрия, можно затем опустить в 26%-ный раствор поваренной соли. На дно стакана в этом растворе будут опускаться образцы, плотность которых больше 1200 кг/м<sup>2</sup> (табл. 17).

Во многих случаях идентифицировать пленочные ПМ можно по таким внешним признакам, как состояние поверхности, цвет, блеск, прозрачность, жесткость или эластичность, стойкость к различного рода механическим воздействиям и др. (табл. 16).

Таблица 17

**Структура, температура плавления и плотность полимеров**

Полимер	Структура	Температура плавления, °С	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Идентификация по плотности	
				вода	р-р тиосульфата натрия
Полипропилен	Частично кристаллический	160–168	900–910	Плавает	—
Полиэтилен высокой плотности		130–140	950–960		
Полиэтилен низкой плотности		105–115	920–930		
Полистирол	Аморфный	—	1060–1080	Тонет	Плавает
Ударопрочный полистирол			1040–1060		
АБС пластик			1020–1050		
Полиамид	Частично кристаллический	215–217	1130–1140	Тонет	

Полимер	Структура	Температура плавления, °С	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Идентификация по плотности	
				вода	р-р тиосульфата натрия
Поликарбонат	Аморфный	—	1180–1200	Тонет	
Полиметилметакрилат			1190–1200		
Поливинилхлорид			1250–1380		
Полиэтилентерефталат	Частично кристаллический	225–260	1370		
Полиоксиметилен		164–167	1420		
Полиуретан	—		1100–1220		

Например, неориентированные пленки из ПЭ, ПП, СЭВА и ПВХ легко растягиваются, а пленки из ПА, ацетата целлюлозы (АЦ), ПС, ориентированных ПЭ, ПП и ПВХ, напротив, растягиваются плохо. Нестойки к раздиру пленки из АЦ. Они легко расщепляются в направлении, перпендикулярном их ориентации, а также шуршат при их смятии, хорошо смачиваются водой, теряя прочность. Также шуршат при смятии полиамидные и полиэтилентерефталатные пленки, но они имеют большую стойкость к раздиру. Пленки из сэвилена, ПЭНП, пластифицированного ПВХ и ряда других полимеров не шуршат при смятии, а некоторые из них обладают еще и высокой стойкостью к раздиру. Результаты изучения внешних признаков исследуемой полимерной пленки следует сравнить с характерными признаками пленок из известных ПМ (табл. 16), после чего уже можно сделать некоторые предварительные выводы.

***Вторая стадия. Определение растворимости исследуемого образца в ряде растворителей***

Для идентификации пластмасс применяют их различную растворимость. Изначально промытую пластмассу «купают» в дихлорметане, в котором растворяется полистирол. Нерастворившуюся часть

вводят в контакт с циклогексаном, где растворяется ПВХ. Оставшаяся часть — это полиэтилен и полипропилен. Некоторые сведения о принадлежности образца к тому или иному типу полимеров можно получить, анализируя их растворимость в органических растворителях и некоторых кислотах (табл. 18).

Для определения растворимости 0,5 г измельченного образца помещают в пробирку, добавляют 5–10 мл растворителя, встряхивают и оставляют стоять на несколько часов; отмечают степень растворения — полное, частичное, набухает, не растворяется.

На первой стадии растворения полимер обычно набухает, а затем набухшая твердая фаза переходит в раствор. Если образец растворяется частично, определяют растворимость при нагревании (в колбе с обратным холодильником). Если он не растворяется, необходимо удвоить количество растворителя.

При определении растворимости необходимо учитывать, что у полимеров она зависит не только от молекулярного веса, но и от многих других факторов. Растворимость отдельных компонентов исследуемого образца может быть использована в дальнейшем для разделения его на составные части.

Результаты, полученные после проведения растворения, сравнивают с табл. 18. Для идентификации полимеров по растворимости целесообразно пользоваться схемой поведения полимеров в шести наиболее применяемых и доступных растворителях:

Образец + толуол:

- образец нерастворим, толуол сливается.

Образец + этилацетат:

- в случае набухания.

Смесь (образец + этилацетат) + тетрахлорметан:

- если образец растворяется, то это поливинилацетат или поливинилбутираль;

• если образец нерастворим, то это могут быть нитрат целлюлозы, сополимер винилхлорида с винилацетатом или поливинилформаль, не растворяется — этилацетат сливается.

Образец + вода:

- если полимер растворим — это поливиниловый спирт;
- если нерастворим — вода сливается.

Образец + тетрахлорметан:

- если не растворяется — это поликарбонат;
- в случае начала растворения или набухания.

Смесь (образец + тетрахлорметан) + циклогексанон:

- при растворении можно идентифицировать поливинилхлорид, сополимер стирола с акрилонитрилом или винилхлорида с акрилонитрилом. Если образец не растворяется, то это может быть полиамид, полиформальдегид или политетрафторэтилен.

Если растворение в толуоле началось:

Смесь + метиловый спирт:

- если растворился образец, то это этилцеллюлоза;
- в случае неполного растворения: метиловый спирт сливается.

Если растворение началось:

Смесь (образец + толуол + этилацетат) + тетрахлорметан:

- в случае полного растворения — это или полистирол, или поли- $\alpha$ -метил стирол;
- если нерастворим — полиметилакрилат или полиизобутилен.

Этилацетат из смеси (образец + толуол + этилацетат) сливают, добавляют тетрахлорметан:

- в случае полного растворения образца — полиизобутилен;
- если образец нерастворим — полиэтилен или полипропилен.

***Третья стадия. Характеристика поведения образца в пламени горелки***

Помимо отличительных особенностей физико-механических характеристик, существуют различия в характерных признаках полимеров при их горении. Этот факт позволяет использовать на практике так называемый термический метод идентификации полимерных пленок. Он заключается в следующем: образец ПМ поджигают и выдерживают в открытом пламени в течение нескольких секунд. Фиксируют характерные признаки горения, которые наиболее отчетливо проявляются в момент поджигания образцов: способность к горению и его характер, цвет и характер пламени, запах продуктов горения и др. Для установления вида ПМ необходимо сравнить результаты проведенного испытания с данными о характерных особенностях поведения полимеров при горении (табл. 15).

Небольшое количество материала осторожно вносят на предварительно прокаленной медной петле в среднюю часть бесцветного пламени газовой горелки и наблюдают его поведение при нагревании. Если образец воспламеняется и горит, поднимают петлю с образцом на 5–6 см вверх. Отмечают характерные особенности горения: воспламеняемость, обугливание, плавление, запах, цвет и форму пламени, наличие копоти, дыма, самогашение, образование сублимата, а после длительного прокалывания — наличие золы, ее окраску и т. п.

Например, желтое сильно коптящее пламя характерно для полимеров, разлагающихся при горении на ароматические углеводороды; образование белой золы или обильного белого дыма указывает на присутствие кремнийорганических соединений.

Сопоставив наблюдения за поведением образца с данными табл. 18, можно сделать соответствующие выводы о природе полимерного образца.

Таблица 18

**Растворимость полимерных материалов**

Полимер	Ацетон	Бензол	Бензин	Толуол	Этилацетат	Тетрахлорметан	Циклогексанон	Этиловый спирт	Диметилформамид	Кислоты		
										Муравьиная	Уксусная	Соляная (конц.)
Полиэтилен	Н	Н	Н	Рг	Н	Н	Н	Н	Н	—	Н	Н
Полипропилен	Н	Н	Н	Рг	Н	Н	Н	Н	Н	—	Н	Н
Полистирол	Нб	Р	Н	Р	Нб	Р	Нб	Н	Р	Н	Н	Н
Поликарбонат	Нб	Нб	Н	Н	—	Н	Н	Н	Р	Н	Н	—
Полиамид	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Р	Р	Р	—
Поливинилхлорид	Нб	Нб	Н	Нб	Нб	Н	Р	Н	Н	Н	Н	Н
Полиметилметакрилат	Р	Р	Н	Р	Р	Н	Р	Н	Н	—	Р	—
Поливинилацетат	Р	Р	Н	Нб	Р	Р	Р	Р	Н	Р	Р	—
Полиэтилентерефталат	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Рг	Н	Н	Н
АБС-пластик	Н	Нб	Н	Р	Н	Н	Н	Н	Р	Н	Н	Н
Полиуретан	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Р	Н	Р	Р	Р	—

*Примечание.* Р — растворим, Н — нерастворим, Нб — набухает, Рг — растворим при нагревании.

**Четвертая стадия. Идентификация исследуемого вещества методом пиролиза**

Пиролиз — это разложение вещества с отгонкой газообразных продуктов через слой дистиллированной воды. В пробирку из термостойкого стекла с отводной трубкой вносят 1–2 г исследуемого материала и быстро нагревают на газовой горелке. Газообразные продукты

разложения по отводной трубке пропускают через слой дистиллированной воды в специальной склянке. Полученный дистиллят анализируют с помощью кислотно-основного индикатора. Отмечают реакцию индикатора по окраске: кислая или щелочная. Результаты наблюдений сравнивают с табличными данными о продуктах пиролиза известных полимеров и олигомеров. При этом учитывают, что щелочную реакцию дают полиамиды, полиуретаны, карбамидоформальдегидные смолы (КФС). Нейтральная окраска индикатора свойственна полиэтилену (ПЭ), полипропилену (ПП), полиформальдегиду, полистиролу (ПС). Кислую реакцию имеют поливинилацетат (ПВА), полиакрилаты, полиэтилентерефталат (ПЭТФ), поливинилхлорид (ПВХ), нитроцеллюлоза (НЦ), полиэфирные смолы. Водные растворы продуктов пиролиза дополнительно исследуют на наличие низкомолекулярных продуктов, образовавшихся при пиролизе (наличие фенола, формальдегида, уксусной кислоты и т. д.), с помощью цветных качественных реакций. Следует помнить, что при пиролизе таких полимеров, как полиметилметакрилат, полистирол, отгоняются мономеры, которые можно идентифицировать по коэффициенту преломления (рефракции), по плотности, методом элементного анализа.

При анализе полимеризационных смол, плавящихся в процессе пиролиза, отгоняют мономеры и затем идентифицируют их по плотности, показателю преломления, специфическим реакциям, элементному анализу и т. д. Водный раствор продуктов пиролиза исследуют с помощью цветных качественных реакций на предмет обнаружения отдельных низкомолекулярных соединений.

***Пятая стадия. Идентификация исследуемого вещества по результатам анализа качественных цветных реакций Цветная реакция на полимеры***

Многие полимерные материалы при добавлении уксусного ангидрида и серной кислоты образуют различно окрашенные соединения. Цветные качественные реакции проводят двумя методами:

- 1) по методу Либермана — Шторха — Моравского;
- 2) реакции с п-фуксином.

Либерманом, Шторхом, Моравским было установлено, что полимеры при добавлении уксусного ангидрида и серной кислоты образуют соединения, окрашенные в различный цвет. Для анализа на фарфоровую пластинку помещают кусочек исследуемого полимера. На него наносят несколько капель уксусного ангидрида и каплю концентрированной серной кислоты плотностью  $1,84 \text{ г/см}^3$  так, чтобы она попала в жидкость. В течение 30 мин наблюдают за окраской жидко-

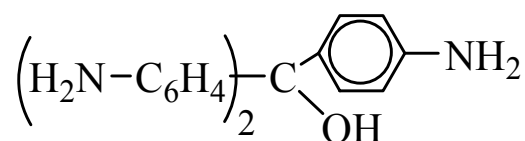
сти и поверхности полимера, отмечая при этом цвета и последовательность их изменения. Собственные наблюдения сопоставляют с данными по окраске известных полимеров и олигомеров (табл. 19).

Таблица 19

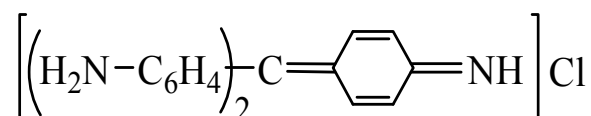
**Окраска полимеров по реакции Либермана — Шторха — Моравского**

Полимер	Окраска
Поливинилиденхлорид	Медленно желтеет
Поливинилхлорид	Медленно синееет, затем зеленеет
Полиметилакрилат	Медленно становится светло-коричневой
Поливиниловый спирт	Зеленая
Поливинилацетат	Медленно зеленеет
Фенолоформальдегидная смола	Слабо-розовая
Эпоксидная смола	Розовая переходящая в красную
Полиэфирная смола	Отсутствует, иногда коричневая
Сополимер винилхлорида и винилацетата	Медленно зеленеет, синееет и буреет
Метилцеллюлоза	Желтая, оливково-зеленая

Во втором случае используют реактив парафуксин. В щелочной среде он существует в форме псевдооснования вида:



Такое псевдооснование называют парарозанилин. В кислой среде парафуксин образует соль следующей структуры:



Парафуксин в кислой среде в солевой форме имеет красно-фиолетовый цвет. Благодаря этой особенности полимеры, которые в условиях опыта выделяют кислоты, окрашиваются фуксином в розовый цвет.

Для выполнения анализа небольшую пробу исследуемого вещества помещают в пробирку с насыщенным раствором парарозанилина и кипятят 5 мин, после чего наблюдают окраску и сравнивают ее с известными данными, приведенными в табл. 20.

## Идентификация полимеров по реакциям с парафуксином

Полимер	Поведение в реактиве
Фенолформальдегидная смола	Растворяется, окрашивая раствор в красно-фиолетовый или оранжевый цвет
Аминоальдегидные смолы	Растворяются, не окрашивая раствора
Полиуретан на основе сложного эфира	Не растворяется, окрашивается
Полиуретан на основе простого эфира	Не растворяется и не окрашивается
Полиамид 6, полиамид 6,6	Не растворяется, окрашивается

**Шестая стадия. Проведение качественных реакций на наличие отдельных элементов**

Эти реакции являются важнейшими для точного определения природы полимера или олигомера. В сухой пробирке из термостойкого стекла осторожно сплавляют небольшое количество исследуемого вещества с кусочком металлического натрия (размером с горошину). Медленно нагревают содержимое пробирки до образования расплава темно-красного цвета.

Затем горячую пробирку опускают в чашку с 10–15 см<sup>3</sup> дистиллированной воды. Колба растрескивается и ее содержимое растворяется в воде. (Непрореагировавший металлический натрий бурно взаимодействует с водой, поэтому работу необходимо проводить в тяге и в защитных очках!) Остатки пробирки разбивают; раствор перемешивают и фильтруют. Фильтрат анализируют с помощью качественных реакций на наличие отдельных элементов.

Для открытия *азота* к 3–5 см<sup>3</sup> фильтрата прибавляют насыщенный раствор закиси железа FeO или соли Мора. Смесь кипятят 30 с, охлаждают, подкисляют соляной кислотой до растворения осадка гидроксида железа. Если раствор приобретает синюю окраску, а затем выпадает синий осадок берлинской лазури, то в исследуемом полимере содержится азот.

Для открытия *галогенов* (хлора, брома, йода и др.) к 5 см<sup>3</sup> фильтрата прибавляют 10%-ную азотную кислоту, осторожно кипятят пробирку и добавляют 5%-ный раствор нитрата серебра AgNO<sub>3</sub>. Если выпадает белый осадок или появляется белая муть, то в исходном полимере присутствует хлор. Если осадок или муть слабозеленоватого цвета, то в исходном полимере содержится бром; а если цвет осадка или мути желтый, то в полимере имеется йод.



Для открытия *фтора* порцию фильтрата подкисляют уксусной кислотой, осторожно кипятят, охлаждают и прибавляют насыщенный раствор хлорида кальция  $\text{CaCl}_2$ . В присутствии фтора появляется студенистый белый осадок.

Для обнаружения *углеводов* (целлюлоза, крахмал, гемицеллюлозы) в образцах используют пробу Молиша или реакцию превращения углеводов в фурфурол. При выполнении пробы Молиша к 5 г образца в пробирке прибавляют 10 капель этанола, 2 капли раствора  $\alpha$ -нафтола и 1 мл серной кислоты  $\text{H}_2\text{SO}_4$  плотностью  $1,94 \text{ г/см}^3$ . Кислоту приливают так, чтобы она медленно стекала по стенке наклоненной пробирки и образовала нижний слой, не смешивающийся с водным. В присутствии углеводов на границе раздела через несколько секунд появляется красное кольцо. После встряхивания раствор становится темно-пурпурным. После 1–2 мин выдержки в пробирку прибавляют 5 мл холодной воды. В присутствии углеводов сразу выпадает темно-фиолетовый осадок. Если к нему прилить избыток аммиака, то смесь приобретает желтовато-коричневый цвет. Указанная цветная реакция характерна для целлюлозосодержащих полимеров, крахмала и камедей. Нитроцеллюлоза в аналогичных условиях анализа дает зеленую окраску.

***Седьмая стадия. Определение химического состава отдельных классов полимеров с помощью качественных и количественных реакций***

Проводится в несколько этапов. На первом — проводится качественное обнаружение отдельных элементов. На втором — после проведения всех предварительных испытаний и практически полной идентификации вида полимерного материала и его химической номенклатуры проводятся качественные и количественные определения наличия отдельных функциональных групп.

Для идентификации полимерной основы композиций также используются различные методы: простые, основанные на исследовании физико-химических и физико-механических свойств полимеров, химические, инструментальные. Наибольшее распространение из инструментальных методов получили ИК-спектроскопия, пиролитическая газовая хроматография, ЯМР-спектроскопия. Применяются газовая, тонкослойная, гель-проникающая хроматография, хромато-масс-спектроскопия, пиролитическая масс-спектроскопия, термический анализ, а также разнообразные комбинации этих и других методов. Инструментальные способы позволяют значительно сократить время анализа и снизить предел обнаружения ряда анализируемых компонентов.

### ***Восьмая стадия. Проводятся первичное распознавание и разделение сложных композиций***

Если исследуемый материал плохо и неоднозначно распознается выше рассмотренными методами то вполне возможно, что он является не чистым однокомпонентным веществом, а представляет собой сложную структуру. Большинство полимерных материалов на самом деле представляют собой композиции и содержат в своем составе: основу-полимер (или олигомер), пластификаторы, наполнители, пигменты и др. добавки. Такие сложные по составу материалы необходимо предварительно разделить на составные части и только затем приступать к анализу.

Для разделения компонентов чаще всего используют разную растворимость компонентов в различных растворителях. Работу проводят в три этапа:

1) разделение полимерной композиции начинают с выделения из нее пластификаторов. Их удаляют методом экстракции (растворения) легко кипящими растворителями: диэтиловым эфиром, спиртом, четыреххлористым углеродом и др. Выделенные пластификаторы впоследствии многократно переосаждают, промывают, очищают и определяют их химическую природу по температурам кипения, коэффициенту рефракции, по плотности, молекулярной массе и др. показателям;

2) из композиции, оставшейся после экстракции пластификатора, выделяют сам полимер (или олигомер) путем растворения его в подходящем растворителе (предполагаемый ПВХ — в дихлорэтане, тетрагидрофуране, полиметилметакрилат — в ацетоне, полистирол — в толуоле, бензоле). В дальнейшем полимер из раствора высаждают осадителями: предполагаемый ПВХ — этиловым спиртом, ПММА — петролейным эфиром, ПС — изопропиловым спиртом. Осадки многократно переосаждают, промывают и у очищенных полимеров определяют комплекс физико-химических свойств (температуру плавления, плотность, характеристики горения и др.), элементный состав, снимают ИК-спектры и т. д.;

3) в остатке, полученном после извлечения пластификаторов и полимера, могут находиться частицы наполнителя, пигмента и другие нерастворимые добавки. Структуру этих веществ изучают с помощью микроскопии, спектральными методами и др.

На заключительном этапе идентификации окончательно устанавливается структура полимеров или олигомеров. После предварительного установления природы материала проводят специфичные для каждого типа полимера количественный, качественный и спектральный анализы.

Второй этап рекомендуется осуществлять по следующей схеме:

1) провести специфические для каждого типа полимера или олигомера качественные реакции (для фенолоформальдегидных смол ФФО — на фенол, на формальдегид; для карбамидоформальдегидных смол КФО — на формальдегид, на азот и др.);

2) выполнить элементный анализ исследуемого вещества. Он заключается в точном определении количества атомов углерода, азота, кислорода, серы, галогенов, и др. в материале образца. Основной принцип элементного анализа — глубокое окислительное разложение вещества до простых низкомолекулярных соединений ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , азота  $\text{N}_2$  и др.) и последующее точное определение количества этих соединений. В последнее время такой анализ осуществляют с помощью автоматических газоанализаторов различных производителей;

3) определить структуру полимеров или олигомеров современными физико-химическими методами (ИК-(инфракрасной) спектроскопии, масс-спектрометрии, ЯМР-спектроскопии, электронной микроскопии, термогравиметрии, рентгеноструктурного анализа и др.).

Наиболее доступен и широко распространен метод ИК-спектроскопии. Для полимера или олигомера неизвестной структуры снимают ИК-спектр и сравнивают его с известными или модельными соединениями, которые приведены в атласах спектров. Сопоставляют так называемые характеристические полосы поглощения спектра и делают вывод о возможной структуре исследуемого материала.

## 8.2. Практическая часть

### *Визуальный анализ внешнего вида образца и определение плотности образцов ПМ*

Приборы и оборудование: химический стакан вместимостью 100–150 мл, 3 шт.

Материалы и реактивы: дистиллированная вода, тиосульфат натрия, поваренная соль.

Оценку внешнего вида осуществляют по цвету, виду, агрегатному состоянию, запаху, прозрачности, твердости, эластичности, хрупкости. Среди физико-химических показателей определяют плотность, коэффициент рефракции (преломления света), и т. д. Результаты внешнего осмотра сопоставляют с имеющимися литературными данными для известных полимеров и олигомеров, анализируют внешний вид образца, его физическое состояние, цвет, запах, прозрачность, твердость и эластичность. Цвет материала не является достоверной характеристикой

принадлежности полимера к тому или иному классу, поскольку красители, пигменты и добавки могут изменить его природную окраску. Однако для фенопластов коричневый и черный цвета являются естественными. Черный цвет отличает и фурановые полимеры, и ПКМ на их основе.

Во многих случаях идентифицировать пленочные ПМ можно по таким внешним признакам, как состояние поверхности, цвет, блеск, прозрачность, жесткость или эластичность, стойкость к различного рода механическим воздействиям и др.

Анализируя полученные данные, делаются предварительные выводы о природе полимера. Твердые полимерные образцы (без наполнителя) дополнительно идентифицируют по плотности.

**Порядок выполнения работы.** Из представленных материалов (изделий) вырезают образцы размером не более  $2 \times 10 \times 10$  мм. Затем готовят рабочие растворы:

- 1) дистиллированная вода — 70 мл;
- 2) раствор тиосульфата натрия (70 г тиосульфата натрия в 60 мл воды);
- 3) 26%-ный раствор поваренной соли.

В три стакана вместимостью 100 мл наливают полученные растворы. Подготовленные образцы помещают вначале в стакан с дистиллированной водой. В зависимости от плотности они либо погрузятся на дно стакана, либо будут плавать на поверхности воды. Образцы, погрузившиеся на дно, извлекают из стакана с водой и помещают в емкость с раствором тиосульфата натрия. На этот раз на дно опускаются образцы, плотность которых больше  $1100 \text{ кг/м}^3$ . Материалы, опустившиеся на дно емкости с раствором тиосульфата натрия, можно затем опустить в 26%-ный раствор поваренной соли. На дно емкости в этом растворе будут опускаться образцы, плотность которых больше  $1200 \text{ кг/м}^2$ .

Результаты визуального анализа и определения плотности материалов записывают в рабочий журнал. Сравнивают полученные результаты с данными (см. теоретическую часть), делают предварительные выводы о природе полимера.

**Идентификация полимерного материала по поведению в пламени горелки и продуктам горения**

Приборы и оборудование: шпатель или термостойкая лопаточка, спиртовка, вытяжной шкаф.

Материалы и реактивы: образцы полимеров.

**Порядок выполнения работы.** На кончик шпателя (термостойкой лопаточки) помещают небольшое количество вещества и вносят в синий конус пламени газовой горелки или спиртовки. Внимательно сле-

дят за процессом и отмечают характерные особенности горения: воспламеняемость, обугливание, плавление, запах, цвет пламени, наличие копоти и дыма, самогашение, наличие золы, окраска золы и др. Желтое, сильно коптящее пламя характерно для ароматических полимеров и олигомеров (полистирол (ПС), полиэтилентерефталат (ПЭТФ), эпоксидные смолы (ЭС)). Пламя с голубой каймой вокруг образца характерно для кислородсодержащих полимеров и олигомеров (поливиниловый спирт (ПВС), полиакрилаты, например, полиметилметакрилат (ПММА)). Пламя с зеленоватой каймой вокруг образца наблюдается при горении хлорсодержащих полимеров (поливинилхлорид (ПВХ), поливинилиденхлорид (ПВДХ)). Белая зола или белый дым характерны для кремнийорганических полимеров.

Результаты наблюдений записывают в рабочий журнал. Полученные результаты наблюдений за горением сопоставляют с характеристиками горения известных полимеров и олигомеров. Уточняют природу полимера.

#### ***Идентификация полимерного материала по реакции дистиллята продуктов пиролиза***

Приборы и оборудование: пробирки по количеству выбранных растворителей, колба, обратный холодильник, водяная баня, электроплитка.

Материалы и реактивы: образцы материалов (изделия).

***Порядок выполнения работы.*** Для пиролиза в пробирку или реторту из термостойкого стекла помещают 1–2 г исследуемого материала и быстро нагревают его на газовой горелке. Газообразные продукты разложения пропускают через дистиллированную воду. По окончании пиролиза пробирку обмывают 23 мл дистиллированной воды и соединяют этот раствор с дистиллятом. По индикатору определяют реакцию полученного водного раствора. На стенках пробирки для пиролиза конденсируются жидкие продукты разложения, иногда оседают кристаллы.

Полученный дистиллят анализируют с помощью кислотно-основного индикатора. Отмечают его реакцию по окраске: кислая или щелочная. Результаты наблюдений сравнивают с табличными данными о продуктах пиролиза известных полимеров и олигомеров. При этом учитывают, что щелочную реакцию дают полиамиды, полиуретаны, карбамидоформальдегидные смолы (КФС). Нейтральная окраска индикатора свойственна полиэтилену (ПЭ), полипропилену (ПП), полиформальдегиду, полистиролу (ПС). Кислую реакцию имеют поливинилацетат (ПВА), полиакрилаты, полиэтилентерефталат (ПЭТФ), поливинилхлорид (ПВХ), нитроцеллюлоза (НЦ), полиэфирные смолы. Водные

растворы продуктов пиролиза дополнительно исследуют на наличие низкомолекулярных продуктов, образовавшихся при разложении (наличие фенола, формальдегида, уксусной кислоты и т. д.), с помощью цветных качественных реакций. Следует помнить, что при пиролизе таких полимеров, как полиметилметакрилат, полистирол, отгоняются мономеры, которые можно идентифицировать по коэффициенту преломления (рефракции), по плотности, методом элементного анализа.

Во время разложения образца в пробирке проверяют реакцию образующихся летучих продуктов с помощью увлажненной индикаторной лакмусовой бумаги. Слабокислые пары образуются при разложении углеводных полимеров, например, нитрата и ацетата целлюлозы. Сильнокислые пары выделяются при разложении поливинилхлорида, поливинилиденхлорида, хлорированного полиэтилена. Щелочная реакция характерна для азотсодержащих полимеров. Нейтральные продукты деструкции выделяются при пиролизе полиолефинов, силоксанов, полиэфиров, изопреновых и бутадиеновых каучуков.

#### ***Идентификация полимерного материала по растворимости***

Приборы и оборудование: пробирки по количеству выбранных растворителей, колба, обратный холодильник, водяная баня, электроплитка.

Материалы и реактивы: образцы материалов (изделия), набор растворителей (определяют по табл. 18 на основании предварительного установления природы материала).

***Порядок выполнения работы.*** Для определения растворимости по 0,5 г вещества измельчают, помещают в пробирки. В них приливают по 5–10 см<sup>3</sup> различных растворителей; содержимое пробирок встряхивают и оставляют на несколько часов (обычно на 2 ч), после чего отмечают степень растворения вещества в каждом из растворителей. Если образец растворяется не полностью, то определяют растворимость при нагревании в колбе с обратным холодильником на кипящей водяной бане в течение 30 мин. Затем фиксируют степень растворимости материалов в различных растворителях. Полная растворимость обозначается как Р, частичная — ЧР, набухание образца — Нб, нерастворимость — Нр, растворение при нагревании — Рг, разрушение в процессе испытания — Рз.

Полученные результаты наблюдений сопоставляют с данными таблицы растворимости известных полимеров и олигомеров (табл. 18) и делают выводы о принадлежности исследуемого полимера или олигомера к определенному классу соединений. При этом следует иметь в виду, что только при нагревании растворяются полиэтилен и полиформальдегид (ПФ-д). При нагревании до высоких температур, близ-

ких к температуре плавления, растворяются кристаллические полимеры. В сильнополярных растворителях растворяются полярные полимеры (например, полиамид ПА 6,6 — в муравьиной кислоте).

***Доказательство принадлежности исследуемого вещества к высокомолекулярным соединениям***

Для выполнения указанного анализа готовят 1%-ный раствор вещества в подходящем растворителе (лучшем для данного вещества). Определяют вязкость приготовленного раствора обычно методом вискозиметрии по времени истечения фиксированного объема раствора из капилляра вискозиметров Оствальда или Убеллоде. Параллельно измеряют вязкость чистого растворителя. Если вязкость раствора в 15–20 раз выше вязкости чистого растворителя, то делается вывод, что исследуемое вещество является высокомолекулярным соединением с большой молекулярной массой.

***Идентификация полимерного материала по цветным реакциям***

Приборы и оборудование: пробирки по количеству выбранных материалов, водяная баня, фарфоровая пластинка, электроплитка.

Материалы и реактивы: образцы материалов (изделия), уксусный ангидрид, концентрированная серная кислота плотностью 1,84 г/см<sup>3</sup>, парафуксин.

***Порядок выполнения работы.*** Для выполнения анализа см. пятую стадию (метод Либермана — Шторха — Моравского и реакции с п-фуксином).

***Идентификация полимеров по качественным реакциям на наличие отдельных элементов***

Приборы и оборудование: пробирки по количеству выбранных образцов материалов (изделий), спиртовка, химический стакан вместимостью 150–200 мл, прибор для фильтрования, водяная баня, электроплитка.

Материалы и реактивы: образцы материалов (изделия), металлический натрий, соль Мора, насыщенный раствор закиси железа FeO, соляная кислота HCl, 10%-ная азотная кислота, 5%-ный раствор нитрата серебра AgNO<sub>3</sub>, насыщенный раствор хлорида кальция CaCl<sub>2</sub>, этанол, раствор α-нафтола, серная кислота H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> плотностью 1,94 г/см<sup>3</sup>.

***Порядок выполнения работы.*** Для выполнения анализа см. шестую стадию (качественные реакции на наличие отдельных элементов).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шахкельдян, Б. Н. Полиграфические материалы // Б. Н. Шахкельдян, Л. А. Загаринская. – М.: Книга, 1988. – 330 с.
2. Полиграфические материалы. Бумага и переплетные материалы // Б. Н. Шахкельдян [и др.]. – М.: МПИ, 1982.
3. Рискин, И. В. Химия и технология пигментов // И. В. Рискин, Б. Ф. Беленький. – Л.: Наука, 1974. – 656 с.
4. Технология полиграфиста: справочник: в 6 т. // Н. И. Орел [и др.]. – М.: Книга, 1988. – Т. 5. – 224 с.
5. Лосев, И. П. Химия синтетических полимеров // И. П. Лосев, Е. Б. Троснянская. – М.: Химия, 1971. – 614 с.
6. Тадмор, З. Теоретические основы переработки полимеров // З. Тадмор, К. Гогос. – М.: Химия, 1984. – 632 с.
7. Фляте, Д. М. Свойства бумаги // Д. М. Фляте. – М.: Лесная промышленность, 1976. – 648 с.
8. Иванов, С. Н. Технология бумаги // С. Н. Иванов. – М.: Лесная промышленность, 1970. – 696 с.
9. Крылатов, Ю. А. Проклейка бумаги // Ю. А. Крылатов, И. Н. Ковернинский. – М.: Лесная промышленность, 1987. – 228 с.
10. Аким, Э. Л. Синтетические полимеры в бумажной промышленности // Э. Л. Аким. – М.: Лесная промышленность, 1986. – 246 с.
11. Азаров, В. И. Химия древесины и синтетических полимеров // В. И. Азаров, А. В. Буров, А. В. Оболенская. – СПб.: ЛТА, 1999. – 628 с.
12. Кречетова, С. П. Материалы для обработки и переработки бумаги и картона // С. П. Кречетова. – М.: Лесная промышленность, 1990. – 157 с.
13. Зильберглейт, М. А. Полиграфические материалы: тексты лекций // М. А. Зильберглейт. – Минск: БГТУ, 2003. – 115 с.
14. Сорокин, М. Ф. Химия и технология пленкообразующих веществ // М. Ф. Сорокин, Л. Г. Шодэ, З. А. Кочнова. – М.: Химия, 1981. – 448 с.
15. Технология полимерных материалов / А. Ф. Николаев [и др.]; под общ. ред. В. К. Крыжановского. – СПб.: Профессия, 2008. – 544 с.
16. Мануленко, А. Ф. Рециклинг пластмасс: учеб.-метод. пособие / А. Ф. Мануленко, В. В. Яценко. – Минск: БГТУ, 2013. – 130 с.
17. Шайерс, Дж. Рециклинг пластмасс: наука, технологии, практика: пер. с англ. / Дж. Шайерс. – СПб.: Научные основы и технологии, 2012. – 640 с.



## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	3
Лабораторная работа № 1. Определение основных показателей качества упаковочных, оберточных и этикеточных бумаг.....	4
1.1. Теоретическая часть.....	4
1.2. Практическая часть.....	9
1.2.1. Определение влажности бумаги и целлюлозы.....	9
1.2.2. Определение зольности бумаги и целлюлозы.....	9
1.2.3. Определение содержания минерального наполнителя.....	10
1.2.4. Определение массы 1 м <sup>2</sup> бумаги.....	10
1.2.5. Определение толщины и плотности бумаги.....	10
1.2.6. Определение сорности бумаги.....	11
Лабораторная работа № 2. Определение гидрофобных свойств упаковочной бумаги и тарного картона.....	12
2.1. Теоретическая часть.....	12
2.2. Практическая часть.....	17
2.2.1. Определение капиллярной впитываемости на аппарате Клемма.....	17
2.2.2. Определение степени проклейки бумаги по методу Кобба.....	17
2.2.3. Определение степени проклейки чернильно-штриховым методом.....	18
2.2.4. Определение рН водной вытяжки.....	19
2.2.5. Определение динамической впитываемости.....	19
2.2.6. Определение динамического растяжения при увлажнении.....	19
Лабораторная работа № 3. Определение печатных и оптических свойств этикеточной бумаги и мелованного картона.....	20
3.1. Теоретическая часть.....	20
3.2. Практическая часть.....	28
3.2.1. Определение белизны и цветовых характеристик.....	28
3.2.2. Определение выщипывания на пробопечатном оборудовании.....	29
3.2.3. Определение выщипывания стандартами Деннисона.....	30
3.2.4. Определение гладкости.....	31
3.2.5. Определение шероховатости.....	31
Лабораторная работа № 4. Определение прочностных свойств упаковочной и мешочной бумаги.....	32
4.1. Теоретическая часть.....	32
	97

4.2. Практическая часть.....	36
4.2.1. Определение сопротивления бумаги разрыву.....	36
4.2.2. Определение влагопрочности бумаги.....	38
4.2.3. Определение сопротивления бумаги излому.....	38
4.2.4. Определение жесткости бумаги и картона.....	39
4.2.5. Определение жесткости по линии биговки бумаги и картона.....	40
Лабораторная работа № 5. Анализ бумаги для гофрирования и картона для плоских слоев гофрированного картона.....	42
5.1. Теоретическая часть.....	42
5.2. Практическая часть.....	45
5.2.1. Определение влажности бумаги для гофрирования и картона для плоских слоев гофрированного картона.....	45
5.2.2. Определение массы 1 м <sup>2</sup> бумаги для гофрирования и картона для плоских слоев гофрированного картона.....	46
5.2.3. Определение толщины и плотности бумаги для гофрирования и картона для плоских слоев гофрированного картона.....	46
5.2.4. Определение сопротивления бумаги и картона разрыву.....	46
5.2.5. Определение сопротивлению продавливания бумаги и картона.....	47
5.2.6. Определение сопротивления торцевому сжатию бумаги для гофрирования ССТ.....	49
5.2.7. Определение сопротивления при сжатии кольца бумаги для гофрирования RCT и картона для плоских слоев гофрированного картона.....	49
Лабораторная работа № 6. Определение показателей качества гофрированного картона.....	51
6.1. Теоретическая часть.....	51
6.2. Практическая часть.....	55
6.2.1. Определение влажности гофрированного картона.....	55
6.2.2. Определение толщины гофрированного картона .....	55
6.2.3. Определение сопротивлению продавливания гофрированного картона.....	56
6.2.4. Определение сопротивления плоскостному сжатию гофрированного картона FCT.....	56
6.2.5. Определение сопротивлению расслаивания гофракартона РАТ.....	56

Лабораторная работа № 7. Определение газопроницаемости полимерных материалов.....	58
7.1. Теоретическая часть.....	58
7.2. Практическая часть.....	64
7.2.1. Определение толщины полимерных пленочных материалов.....	64
7.2.2. Определение кислородопроницаемости полимерной пленки .....	64
7.2.3. Определение паропроницаемости полимерной пленки.....	67
Лабораторная работа № 8. Идентификация полимеров.....	72
8.1. Теоретическая часть.....	72
8.2. Практическая часть.....	91
Литература.....	96

Учебное издание

## **МАТЕРИАЛЫ УПАКОВОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Учебно-методическое пособие

Авторы-составители

**Губарев** Александр Александрович

**Зильберглейт** Марк Аронович

**Мануленко** Александр Филиппович

Редактор *О. Б. Бутевич*

Компьютерная верстка *О. Б. Бутевич*

Корректор *О. Б. Бутевич*

Издатель:

УО «Белорусский государственный технологический университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий

№ 1/227 от 20.03.2014.

Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.